



INOVASI TEKNOLOGI PERTANIAN UNTUK MENUNJANG AGROINDUSTRI DI MASA PANDEMI

F
T
P
UNUD

EDITOR

**Nyoman Semadi Antara
Gusti Ayu Kadek Diah Puspawati**

2020

BOOK CHAPTER

**INOVASI TEKNOLOGI PERTANIAN UNTUK
MENUNJANG AGROINDUSTRI DI
MASA PANDEMI**

Penulis :

Ardiansyah

Anton Rahmadi

Nyoman Sulastri

I Gusti Ayu Lani Triani

G. A. K Diah Puspawati

I Putu Surya Wirawan

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS UDAYANA**

2020

BOOK CHAPTER
INOVASI TEKNOLOGI PERTANIAN UNTUK
MENUNJANG AGROINDUSTRI DI
MASA PANDEMI

Penulis:

Ardiansyah
Anton Rahmadi
Nyoman Sulastri
I Gusti Ayu Lani Triani
G.A.K Diah Puspawati
I Putu Surya Wirawan

Editor:

Nyoman Semadi Antara
Gusti Ayu Kadek Diah Puspawati

Desain Cover:

Putu Bagus Indra Sukadiana Putra

Desain Isi:

Gusti Ayu Kadek Diah Puspawati

Penerbit:

SWASTA NULUS
Bekerjasama dengan
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS UDAYANA

Cetakan Pertama

2020, vi + 104 hlm, 21x29 cm, Time New Roman 12

ISBN: 978-623-7559-93-1

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Hak cipta dilindungi undang-undang Dilarang keras menterjemahkan, memfotokopi, atau
Memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini. Tanpa ijin tertulis dari Penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga “Webinar Deseminasi Hasil Penelitian Inovasi Teknologi Pertanian Untuk Menunjang Agroindustri di Masa Pandemi” telah terlaksana tanggal 5 Desember 2020 Pukul 13:30-16:00 WITA. Pelaksanaan kegiatan ini dilaksanakan secara daring (*online*). Hal ini akibat kondisi pandemik covid 19.

Dalam pelaksanaannya kami mendatangkan 2 orang pembicara tamu (*invited speaker*) yang berasal dari Universitas Mulawarman-Kalimantan Timur dan Universitas Bakrie-Jakarta dan 4 orang Staf Dosen dari Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana-Bali. Peserta dari kegiatan ini berjumlah 200 orang yang berasal dari kalangan universitas, lembaga penelitian, dinas pemerintahan dan pihak perusahaan/swasta. Kegiatan ini tentu masih terdapat kekurangan. Kekurangan tersebut akan kami jadikan bahan intropeksi diri untuk perbaikan pada kegiatan-kegiatan ke depan.

Luaran dari kegiatan Webinar Desiminasi Hasil Penelitian Inovasi Teknologi Pertanian Untuk Menunjang Agroindustri di Masa Pandemi dalam bentuk *book chapter* yang berjudul “Inovasi Teknologi Pertanian Untuk Menunjang Agroindustri di Masa Pandemi”. *Book chapter* ini memuat tentang paper ilmiah hasil penelitian yang telah diwebinarkan dengan format penulisan ilmiah, terdiri dari: cover, pendahuluan, poin-point yang berkaitan dengan judul paper yang ditulis, kesimpulan dan daftar pustaka.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dekan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas yang telah memberikan kesempatan untuk pelaksanaan kegiatan ini, para narasumber, seluruh panitia, dan peserta webinar serta semua pihak yang telah membantu dalam kegiatan ini. Kami menyadari *book chapter* ini jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kami berharap kiritik dan saran untuk kesempurnaannya dan semoga buku ini dapat bermanfaat.

Sekian dan terima kasih

Bukit Jimbaran, 29 Desember 2020
Editor

Nyoman Semadi Antara

PRAKATA

Kegiatan webinar desiminasi hasil penelitian merupakan suatu kegiatan untuk menunjang Tri Darma Perguruan Tinggi bidang Penelitian yaitu dalam bentuk desiminasi hasil penelitian yang telah dilakukan. Hal ini bertujuan agar penelitian-penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui, dikenal dan bermanfaat untuk orang lain diluar peneliti seperti dari pihak akademisi, pemerintah dan swasta.

Kegiatan desiminasi hasil penelitian sudah pernah dilakukan di tahun 2018 dan sudah menghasilkan luaran *book chapter*. Desiminasi hasil penelitian di tahun 2020 merupakan model baru yang dilakukan melalui webinar atau secara daring (*online*). Hal ini disebabkan kita semua mengalami Pandemi Covid 19 yang membuat model WFH (*Work from Home*). tahun 2020. Kegiatan ini telah berjalan dengan baik semoga dimasa mendatang akan semakin baik

Kami menyambut dengan baiki atas telah terbitnya *book chapter* ini. Hal ini menunjukkan bahwa Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana, telah ikut berperan aktif dalam melaksanakan Tri Darma Perguruan Tinggi khususnya di bidang Penelitian.

Semoga *book chapter* tentang Desiminasi Hasil Penelitian: “Inovasi Teknologi Pertanian Untuk Menunjang Agroindustri di Masa Pandemi” dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya dan seluas-luasnya untuk kepentingan dunia akademisi, pemerintah, swasta dan masyarakat secara luas.

Sekian dan Terima kasih.

Bukit Jimbaran, 29 Desember 2020
Dekan Fakultas Teknolog Pertanian-UNUD

I Ketut Satriawan

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	
KATA	
PENGANTAR	
PRAKATA	
DAFTAR ISI	
CHAPTER I	POTENSI BEKATUL SEBAGAI INGREDIEN PANGAN UNTUK MENCEGAH SINDROM METABOLIK..... 1-16 Ardiansyah
CHAPTER II	INOVASI TEKNOLOGI PERTANIAN UNTUK PENGEMBANGAN AGRO-INDUSTRI BERBASIS PANGAN LOKAL..... 17-34 Anton Rahmadi, dkk
CHAPTER III	PEMBAKARAN LIMBAH PASCA PANEN: ASPEK KESELAMATAN DAN EKONOMI..... 35-52 Ni Nyoman sulastri
CHAPTER IV	KARAKTERISTIK WORTEL (<i>DAUCUS CAROTA</i> L.) HASIL APLIKASI BAKTERI PEMICU PERTUMBUHAN SALAH SATU LANGKAH MENUJU BUDIDAYA RAMAH LINGKUNGAN..... 53-69 I Gusti Ayu Lani Triani, dkk
CHAPTER V	POTENSI ANTOSIANIN TERONG BELANDA (<i>SOLANUM</i> <i>BETACEUM</i> CAV.) SEBAGAI PENURUN HIPERGLIKEMIK..... 70-91 Gusti Ayu Kadek Diah Puspawati
CHAPTER VI	APLIKASI PENGGUNAAN ADSORBEN KARBON AKTIF BAMBU PETUNG PADA PROSES DEHIDRASI ETANOL... 92-104 I Putu Surya Wirawan

Chapter 1

POTENSI BEKATUL SEBAGAI INGREDIEN PANGAN UNTUK MENCEGAH SINDROM METABOLIK

Ardiansyah

POTENSI BEKATUL SEBAGAI INGREDIEN PANGAN UNTUK MENCEGAH SINDROM METABOLIK

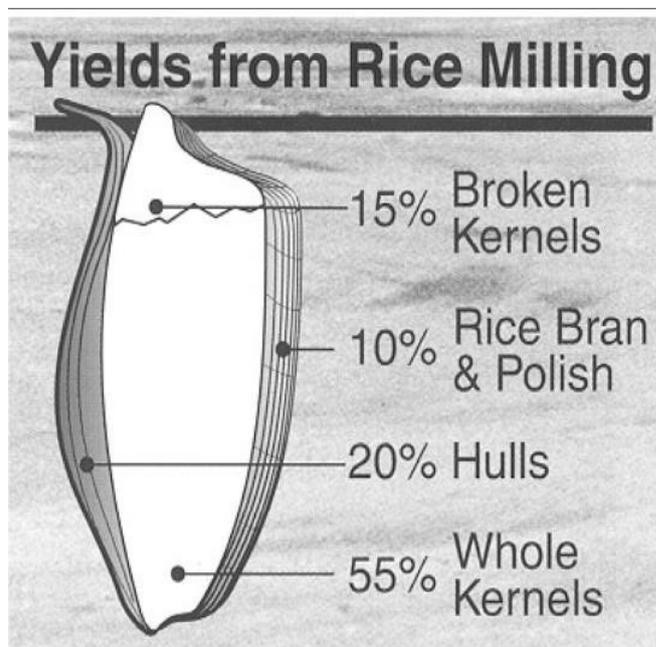
Ardiansyah

Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Bakrie, Jakarta

Email: ardiansyah.michwan@bakrie.ac.id

Pendahuluan

Bekatul atau *rice bran* adalah hasil samping penggilingan padi terdiri dari lapisan *aleurone* beras (*rice kernel*), *endosperm*, dan *germ*. Pada Gambar 1 ditampilkan produk samping penggilingan beras, salah satu produknya adalah bekatul yang terdiri dari 10 persen dari total produk. Jumlah produksi bekatul berbanding lurus dengan produksi beras, artinya di Indonesia yang mayoritas penduduknya menjadikan beras sebagai pangan pokoknya, sehingga hasil samping bekatul pun jumlahnya sangat besar. Indonesia merupakan produsen beras terbesar ketiga di dunia, dari tahun 1994 hingga tahun 2018 (FAO, 2019). Berdasarkan catatan di Badan Pusat Statistik, produksi gabah kering giling (GKG) di Indonesia pada tahun 2019 mencapai 54,60 juta ton (BPS, 2019), dengan angka tersebut dapat dihasilkan kira-kira 5,46 juta ton bekatul. Produk samping penggilingan beras ditampilkan pada Gambar 1,



Gambar 1. Produk samping penggilingan beras (Shih, 2003).

Pemanfaatan bekatul sangat disayangkan, sampai saat ini masih sangat terbatas, yaitu hanya sebagai pakan ternak. Padahal, banyak laporan penelitian menyebutkan bahwa bekatul mengandung komponen bioaktif pangan yang bermanfaat bagi kesehatan, sehingga bekatul sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi pangan fungsional yang bernilai gizi dan menyehatkan.

Pemanfaatan bekatul sebagai produk pangan di Indonesia masih sangat terbatas, misalnya sebagai makanan tradisional bubur atau jenang bekatul dan bangket bekatul. Saat ini bekatul lebih banyak digunakan sebagai pakan ternak. Bekatul terkadang juga menjadi limbah yang mencemari lingkungan, terutama di sentra produksi padi saat panen musim penghujan. Keadaan ini sangatlah berbeda dengan beberapa negara lain di dunia, seperti Amerika Serikat, Jepang, Thailand, dan Vietnam, yang sudah banyak mengembangkan bekatul sebagai produk pangan, misalnya sebagai sereal sarapan dan minyak bekatul (*rice bran oil*) termasuk produk-produk kosmetik untuk kecantikan.

Komposisi Kimia Bekatul

Bekatul mengandung memiliki berbagai komponen yang dapat meningkatkan kesehatan seperti γ -oryzanol, α -tocopherol, dan *tocotrienol*, asam ferulat, asam fitat, β -sitosterol, stigmasterol dan campesterol. Bekatul kaya akan vitamin B kompleks (B1, B2, B3, B5, dan B6), vitamin E (*tocopherols* dan *tocotrienols*), *carotenoids*, asam lemak esensial, *dietary fiber*, asam amino, γ -oryzanol, *polyphenols*, mineral, dan *phytosterols* (Aguilar-Garcia *et al.*, 2007; Henderson *et al.*, 2012; Shin *et al.*, 2019).

Kandungan komponen lipid pada bekatul adalah sebesar 90-96%, seperti mono-, di- dan triasilgliserol, asam lemak bebas, serta lilin. Di dalam fraksi asam lemak, terdapat asam palmitat (21-26%), asam linoleat (31-33%), dan asam oleat (37-42%) sebagai senyawa yang utama. Karena tingginya kandungan asam lemak tak jenuh dan *poly-unsaturated* (PUFAs), minyak bekatul dianggap sebagai makanan sehat (Lemos dan Souza-Soares, 2000).

Komposisi kimia bekatul sangat bervariasi, tergantung kepada faktor agronomis padi, termasuk varietas padi, dan proses penggilingannya. Komposisi bekatul disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Bekatul

Komponen	Kandungan per 100g	Komponen	Kandungan per 100g
Analisis Proksimat		Niasin (mg)	43**
Protein (g)	17,5*	Asam Pantotenat (mg)	7**
Lemak (g)	13,10*	Piridoksin	0,49**
Serat kasar (g)	7,85*	Mineral	
Serat Pangan (g)	21,17*	Kalsium (mg)	52,10*
Serat larut air (g)	2,17*	Fosfor (mg)	1185,2*
Karbohidrat	52,33*	Besi (mg)	28,10*
Energi (Kkal)	398*	Zinc (mg)	6,02*
Kadar abu (g)	4,92*	Mangan (mg)	28,6**
Pati (g)	24,1**	Tembaga (mg)	0,6**
Gula Sederhana (g)	5**	Iodin (µg)	67**
Vitamin		Kalium (g)	1,9**
Tiamin (mg)	3**	Natrium (g)	20,3**
Riboflavin (mg)	0,4**	Magnesium (g)	0,9**

Sumber : * Bhosale & Vijayalakshimim (2015) * Rao (2000)

Kandungan total senyawa fenolik (TSF) yang terkandung di dalam bekatul sangat mempengaruhi aktivitasnya sebagai senyawa antioksidan. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa perbedaan varitas sangat mempengaruhi kandungan TSF seperti disajikan pada Gambar 2. Bekatul beras yang telah disosoh (dikenal sebagai beras putih) kandungan TSF lebih tinggi daripada beras aromatik (sintanur), tetapi lebih rendah dari beras berpigmen (beras hitam dan beras merah).



Keterangan: *Ardiansyah *et al.*, 2019; **Ardiansyah *et al.*, 2020; ***Zulfafamy, E.K., *et al.*, 2018

Gambar 2. Kandungan total senyawa fenolik beberapa varitas beras

Bekatul juga mengandung asam ferulat (*ferulic acid*), yang telah diketahui secara luas sebagai antioksidan dan bahan fotoprotektif. Asam ferulat dapat melindungi asam lemak melawan kerusakan oksidasi yang disebabkan oleh berbagai jenis polutan, peroksida, dan radikal bebas yang dibentuk selama proses metabolisme tubuh. Asam ferulat juga dapat bekerja secara sinergis dengan komponen antioksidan lain, seperti asam kafeat, vitamin C, dan betakaroten, untuk menghilangkan radikal bebas, peroksida, dan zat berbahaya potensial lain.

Stabilisasi Bekatul

Pemanfaatan bekatul terkendala karena timbulnya aroma tengik dan rasanya yang pahit setelah beberapa hari penyimpanan. Aroma tengik bekatul ditimbulkan oleh senyawa degradasi lipida seperti aldehida dan keton. Oksidasi lemak pada bekatul dipercepat karena adanya aktivitas enzim lipase yang menghidrolisa lemak pada bekatul menjadi asam lemak bebas yang bersifat labil (mudah mengalami oksidasi). Sedangkan rasa pahit ditimbulkan oleh senyawa peptida hidrofobik dengan berat molekul rendah hasil hidrolisis protein oleh enzim protease. Oleh karena itu untuk mencegah terjadinya penyimpangan kedua aroma/rasa tersebut perlu dilakukan penelitian untuk menginaktivkan kedua enzim tersebut.

Kandungan lemak pada bekatul mencapai 20 persen, hal ini dapat menyebabkan penurunan mutu pada bekatul, yaitu terjadinya ketengikan. Kandungan air yang terdapat di dalam bekatul juga dapat menjadi faktor pemicu terjadinya proses hidrolisis lemak. Oksidasi lemak pada bekatul dipercepat karena adanya aktivitas enzim lipase yang menghidrolisa lemak pada bekatul menjadi asam lemak bebas yang bersifat labil (mudah mengalami oksidasi). Kemudian rasa pahit ditimbulkan oleh senyawa peptida hidrofobik dengan berat molekul rendah hasil hidrolisis protein oleh enzim protease.

Untuk bisa menjadikan bekatul sebagai pangan yang *food grade* dan bisa awet, maka komponen penyebab kerusakan dari bekatul harus dihilangkan dan/atau dihambat, tetapi tetap harus menjaga komponen bioaktifnya, agar tidak hilang atau meminimalisasi kehilangan. Salah satu teknologi yang dikembangkan adalah teknologi pemanasan dengan cara disangrai (Teknologi Penyangraian). Prinsip pengolahannya adalah bekatul yang dihasilkan pada proses penyosohan segera distabilkan dengan mesin penyangrai kontinyu pada suhu 120°C, dengan waktu tinggal di lorong satu menit, selanjutnya didinginkan sebelum dikemas. Teknologi ini dapat disinergikan dan dipasang pada unit pengolahan beras untuk mendapatkan mutu bekatul yang baik. Semakin cepat proses stabilisasi yang dilakukan akan semakin mengurangi tingkat

kerusakan bekatul. Hal ini karena bekatul sangat mudah mengalami kerusakan; dengan penundaan proses akan menyebabkan bekatul rusak dan menyebabkan *off flavor* sehingga rasanya tidak dapat diterima dengan konsumen.

Penelitian yang dilakukan oleh Amarasinghe dan Gangodavilage (2004), melaporkan bahwa metode pengukusan merupakan satu metode yang tepat untuk proses stabilisasi bekatul bila dibandingkan dengan metode-metode lainnya, seperti *hot air drying*, pendinginan, pengeringan di bawah sinar matahari, *fluidized bed drying*, dan stabilisasi menggunakan bahan kimia. Metode pengukusan yang diaplikasikan dapat mengontrol kadar FFA bekatul-bisa bertahan sampai dengan 90 hari dengan nilai FFA sebesar 9 persen. Selanjutnya mereka merekomendasikan bahwa metode pengukusan sangat sesuai diterapkan untuk skala industri kecil, karena mudah diaplikasikan dan tidak memerlukan biaya yang terlalu besar.

Penelitian yang dilakukan oleh Swastika (2009), merekomendasikan bahwa kombinasi metode pengukusan dan pengeringan rak dapat dijadikan salah satu alternatif metode pengawetan bekatul. Bekatul terstabilisasi yang dihasilkan dengan metode ini memiliki kadar air 5,6 persen dan nilai TBA 0,23 mg MDA/kg sampel. Bila dibandingkan dengan bekatul segar yang memiliki kadar air 6,9 persen dan nilai TBA 0,68 mg MDA/kg sampel.

Setelah proses stabilisasi, penyimpanan bekatul-awet memegang peranan penting agar bekatul tidak mudah rusak. Kerusakan bekatul-awet kemungkinan dapat disebabkan oleh ketengikan akibat terjadinya oksidasi atau hidrolisis kandungan lemak yang terdapat pada bekatul-awet. Dengan kandungan air berkisar antara 6-7 persen, bekatul-awet baik disimpan dalam tempat yang dingin dan kering, sehingga tidak mudah ditumbuhi oleh mikroorganisme perusak. Bekatul-awet dapat disimpan dalam kemasan plastik (contohnya *polyethylene* atau PE) bertujuan agar memberi perlindungan terhadap terjadinya pencemaran, kerusakan fisik, dan dapat menahan perpindahan gas dan uap air.

Bekatul Menurunkan Lemak dan Tekanan Darah

Manfaat bekatul diantaranya adalah menurunkan secara nyata kadar kolesterol darah, yaitu *low density lipo-protein* (LDL) kolesterol dan *very low density lipo-prortein* (VLDL) kolesterol, serta dapat meningkatkan kadar *high density lipo-protein* (HDL) kolesterol darah. Kemampuan bekatul dalam menurunkan kadar kolesterol disebabkan adanya kandungan γ -*oryzanol* dan kandungan asam lemak tidak jenuh.

Manfaat lain dari bekatul adalah memiliki kemampuan menurunkan tekanan darah dan meningkatkan metabolisme glukosa dengan menggunakan hewan percobaan, yang disebut

stroke-prone spontaneously hypertensive rats (SHRSP); spesies tikus yang secara genetik mengalami hipertensi dan hiperlipidemia. Mekanisme penurunan tekanan darah melalui penghambatan kerja enzim *angiotensin I-converting enzyme* (ACE); suatu enzim yang bertanggung jawab terhadap peningkatan tekanan darah (Ardiansyah *et al.*, 2006).

Bekatul Sebagai Antikanker

Pada tahun 2008 El-Din melaporkan hasil penelitian in-vivo menggunakan mencit spesies *Swiss-albino*. Dalam laporan tersebut disebutkan bahwa MGN-3-hemiselulosa olahan bekatul awet yang diperoleh dengan mereaksikannya secara enzimatis dengan enzim hemiselulosa-memiliki kemampuan sebagai senyawa antikanker dengan cara menginduksi apoptosis dan meningkatkan reaksi imun. Bekatul awet yang diujicobakan tidak berpengaruh terhadap aktivitas mencit yang diuji, dimana mencit dalam keadaan normal pola konsumsinya (asupan makanan dan minuman).

Bahan aktif utama yang menyusun struktur MGN-3 adalah polimer *arabinoxylan* dengan *xylose* berada pada ikatan utama dan diikuti dengan *arabinose* pada ikatan lainnya. Komposisi kimia MGN-3 lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia MGN-3^a

Parameter	MGN-3
Penampakan Kadar air (%)	Bubuk berwarna coklat < 8,0
Kadar protein (%)	8 – 15
Kadar abu (%)	5 – 10
Kadar karbohidrat (by difference) (%)	65 – 80
Arsenik (sebagai As ₂ O ₃) (ppm)	Logam < 5,0
berat (sebagai Pb) (ppm)	< 20,0 < 3,0
Total mikroba (koloni/gram)	X 10 ³
Total koliform	Negatif

^a Sumber: El-Din *et al.*, 2008

Penelitian Wang *et al.* (2009), menemukan satu metode untuk memanipulasi *defatted rice bran* agar dapat dihasilkan komponen-komponen aktif dengan *degrees of sulfation* yang tinggi. Teknik ini mereka sebut dengan nama teknik *chlorosulfonic acid-pyridine* (CSA-Pyr) yang bertujuan untuk meningkatkan bioaktivitas dari bahan-bahan berbasis polisakarida. Senyawa sulfat dapat mengubah karakteristik bahan awal dengan berubahnya ikatan struktur bekatul.

Prinsip teknik ini adalah memodifikasi bekatul yang telah dihilangkan kandungan lemaknya dengan proses sulfatisasi. Dengan perbandingan CSA: Pyr (1 : 4) pada suhu 70°C

selama dua jam, dapat dihasilkan fraksi dari *defatted rice bran* dengan kandungan karbohidrat sebanyak 78,58% dan nilai DS 1,29; fraksi ini memiliki kemampuan dalam menghambat proliferasi sel B16 and HeP-G2 secara *invitro*.

Secara garis besar teknik sulfatisasi yang dikembangkan oleh Wang *et al.* (2009) adalah sebagai berikut, *defatted rice bran* dilarutkan dalam larutan *anhydrous dimethylformamide* dan kemudian ditambahkan larutan sulfat (campuran *CSA* dan *Pyr*). Langkah setelah selesai reaksi, campuran bahan didinginkan pada suhu ruang, setelah itu dilakukan netralisasi dengan 2,5M NaOH, kemudian dipresipitasi dengan ethanol 95%. Endapan yang diperoleh dilarutkan kembali dengan air dan didialisis dengan air mengalir biasa selama 2 hari kemudian dilanjutkan dengan air suling selama 1 hari.

Bekatul Sumber Prebiotik

Suatu ingredien pangan dapat diklasifikasikan sebagai prebiotik bila memenuhi persyaratan berikut : (i) tidak terhidrolisis atau terserap pada saluran pencernaan bagian atas, (ii) secara selektif dapat menstimulir pertumbuhan bakteri yang menguntungkan pada kolon, dan (iii) dapat menekan pertumbuhan bakteri patogen, sehingga secara sistemik dapat meningkatkan kesehatan.

Pada umumnya senyawa oligosakarida yang tidak tercerna seperti rafinosa, fruktooligosakarida, isomaltooligosakarida atau transgalakto-silooligosakarida, dan galaktosillaktosa diketahui dapat meningkatkan jumlah bifidobakteria indigenus dan bakteri asam laktat yang terdapat di dalam saluran pencernaan. Beberapa prebiotik seperti inulin dan oligosakarida dapat diisolasi dari sumber alami, seperti umbi-umbian. Umumnya umbi-umbian mengandung oligosakarida dalam bentuk rafinosa dalam jumlah tinggi.

Komiyama *et al.* (2010) dari perusahaan *Kirin Co., Ltd.*-perusahaan Farmasi di Jepang-mengembangkan sumber prebiotik baru yang berasal dari bekatul. Produk tersebut mereka beri nama dengan *enzyme-treated rice bran foodstuff* (ERF) yang kaya dengan kandungan *dietary fiber* dan juga fraksi lemak.

Langkah pertama untuk mendapatkan prebiotik dari bekatul adalah dengan cara: (i) Bekatul difermentasi dengan *heat-resistant amylase* untuk menghilangkan residu (sisa) fraksi pati, (ii) Fraksi tidak larut dari bekatul difermentasi lanjut dengan enzim hemiselulase dan protease pada suhu 50°C selama satu malam, dan (iii) Inaktivitas enzim dengan cara pemanasan, kemudian diperoleh residu yang kemudian disebut dengan ERF, komposisi kimia ERF disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi kimia ERF*

Komposisi (%)	ERF
Protein	14,9
Lemak	12,5
<i>Dietary fiber</i>	74,5
Selulosa**	32,8
Hemiselulosa**	42,8
Lignin*	24,4
Abu	2,1
Air	3,6

*Sumber: Komiyama *et al.* (2010); **Persentase *dietary fiber*

Perlakuan enzim sangat efektif untuk menurunkan kandungan protein dan kandungan pati pada bekatul. Selanjutnya perlakuan enzim sangat bermanfaat untuk meningkatkan kandungan *dietary fiber* karena rusaknya struktur dinding sel bekatul. Pada Tabel 3 terlihat bahwa ERF yang dihasilkan mengandung *dietary fiber* sebanyak 70 persen, 42,8 persen berasal dari hemiselulosa. Jumlah *dietary fiber* meningkat sebanyak 36,3 persen bila dibandingkan dengan bekatul awet yang digunakan sebagai bahan baku awal. Produk ERF memiliki nilai *water holding capacity* (WHC) sehingga ERF dapat berkontribusi untuk perbaikan metabolisme pencernaan terutama pada penderita diare kronis.

Pada bagian akhir penelitian Komiyama *et al.* (2010) menyebutkan bahwa ERF memiliki kemampuan sebagai bahan anti-inflamasi (anti-radang) pada *colon* (usus besar) yang uji menggunakan hewan percobaan. Komiyama *et al.* (2010) menyimpulkan bahwa kemampuan ERF sebagai bahan anti-inflamasi disebabkan karena ERF memiliki kemampuannya dalam menghambat *dysbiosis*, menurunkan dan menekan pertumbuhan bakteri *Clostridium sp.* dan *Eubacterium sp.*-dua spesies bakteri patogen yang ada di dalam saluran pencernaan, meningkatkan jumlah *SCFAs* yang dapat berkontribusi kontribusi pada efek anti-inflamasi, dan respon beberapa fraksi lemak ERF yang dapat meningkatkan reaksi imun pada sel.

Rice Bran Oils dan Manfaatnya Untuk Kesehatan

Salah satu bentuk produk bekatul yang populer saat ini terutama di luar negeri adalah *rice bran oil* (RBO). RBO dapat diperoleh dari bekatul awet sebanyak 15-25 persen. Karena jumlah bahan baku yang sangat besar jumlahnya di Indonesia sehingga RBO sangat potensial dikembangkan sebagai bahan baku ingredien baik pangan atau non pangan. Beberapa laporan

penelitian menyebutkan bahwa RBO mengandung komponen bioaktif pangan yang bermanfaat bagi kesehatan baik uji pada hewan ataupun manusia.

Pada Tabel 4 ditunjukkan bahwa hampir 74,3 persen kandungan asam lemak tidak jenuh minyak RBO terdiri dari *mono* dan *poly* (MUFA dan PUFA). Sementara itu sisanya terdiri dari asam lemak jenuh atau *saturated fatty acid* (SFA). Kandungan asam lemak tidak jenuh yang tinggi pada RBO akan memberikan efek positif bila kita mengkonsumsinya.

Manfaat kesehatan yang telah dilaporkan bahwa RBO dapat menurunkan secara nyata kadar kolesterol darah, yaitu *low density lipo-protein* (LDL) kolesterol dan *very low density lipo-prortein* (VLDL) kolesterol dan dapat meningkatkan kadar *high density lipoprotein* (HDL) kolesterol darah (Wilson *et al.*, 2007). Penelitian yang dilakukan oleh Chuo *et al.* (2009) melaporkan bahwa RBO dapat memperbaiki metabolisme lemak, menurunkan indeks atherosklerosis, dan menekan respon hiperinsulinemia pada ujicoba tikus yang diinduksi menggunakan *streptozotocin/nicotinamide*, dan dapat meningkatkan sekresi *fecal neutral sterol* dan metabolisme asam empedu.

Selain itu kandungan γ -*Oryzanol* merupakan bahan aktif yang harus terdapat pada RBO sebagai kriteria mutu yang RBO. γ -*Oryzanol* adalah campuran ester asam ferulat dari sterol dan triterpen alkokol dimana β -*Sitosterol* merupakan komponen tertinggi pada RBO (Gambar 3).

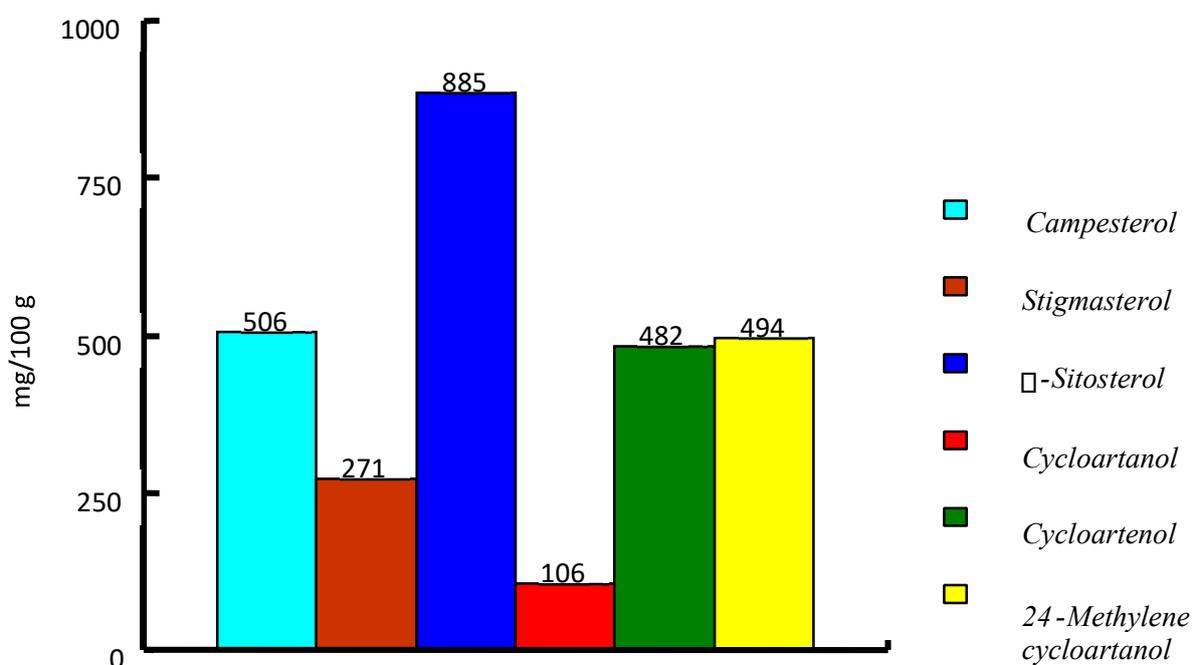
Penelitian yang dilakukan oleh Sugano dan Tsuji (1997) menyebutkan bahwa γ -*Oryzanol* yang terdapat di RBO dapat menurunkan kadar kolesterol darah. Senyawa ini diketahui sangat efektif karena kemampuannya untuk menghambat kerja enzim *3-hydroxy3-methylglutaryl CoA reductase* (*HMG-CoA reductase*); suatu enzim yang bertanggung jawab dalam proses sintesis (pembentukan) kolesterol. Lebih lanjut hasil penelitian yang dilakukan oleh Ismail *et al.* (2010), menyebutkan bahwa γ -*Oryzanol* dari RBO sebagai bahan aktif yang dapat mengaktivasi gen-gen yang terkait status antioksidan dan stres oksidatif pada hati tikus yang mengalami stres.

RBO dipercaya menjadi salah satu sumber minyak pangan yang menyehatkan di negara-negara dimana konsumsi padi (beras) sebagai makanan utamanya seperti Jepang, India, Pakistan, Indonesia, Thailand, dan Vietnam. Pemanfaatan pada bidang pangan lainnya, digunakan sebagai ingredien pada produk *snack*, margarin, dan mayonais. Selain pemanfaatan pada bidang pangan, komponen bioaktif yang terdapat pada RBO juga telah disuplementasikan ke dalam produk-produk non pangan, seperti pada produk-produk kecantikan.

Tabel 4. Komposisi asam lemak RBO*

Asam Lemak	Jumlah (%)
1. Asam miristat (14:0)	0,7
2. Asam palmitat (16:0)	16,9
3. Asam stearat (18:0)	1,6
Total Saturated Fatty Acid (SFA)	19,2
1. Asam palmitoleat (16:1)	0,2
2. Asam oleat (18:1)	39,1
Total Monounsaturated Fatty Acid (MUFA)	39,3
1. Asam linoleat (18:2)	23,4
2. Asam linolenat (18:3)	1,6
Total Polyunsaturated Fatty Acid (PUFA)	35

* Sumber: Ausman *et al.* (2005)



Gambar 3. Kandungan sterol dan triterpen pada RBO (Sugano dan Tsuji, 1997)

Bekatul Sebagai Produk Kecantikan

Beberapa negara maju, khususnya di Jepang dan Amerika Serikat, bekatul awet dan beberapa komponen bioaktifnya telah disuplementasi sebagai ingredien pada produk-produk kecantikan. Produk-produk tersebut antara lain sabun mandi, shampo, pelembab dan pembersih kulit, serta pelembab muka. Jumlah penggunaannya berkisar antara 0,1 sampai 2,0 persen. Salah satu bahan yang dilaporkan yaitu γ -Oryzanol diketahui memiliki kemampuan untuk

melindungi kulit dari sengatan matahari (Ishibashi, 1994). γ -*Oryzanol* adalah campuran ester asam ferulat dari sterol dan triterpen alkohol yang terdapat di dalam bekatul. γ -*Oryzanol* diketahui bersifat antioksidan dengan mencegah terjadinya kerusakan dinding sel sehingga penting dalam menjaga kesehatan manusia. Asam ferulat telah diketahui secara luas sebagai antioksidan dan bahan fotoprotektif (Saija *et al.*, 1999). Asam ferulat akan melindungi asam lemak melawan kerusakan oksidasi yang disebabkan oleh berbagai jenis polutan, peroksida, dan radikal bebas yang dibentuk selama proses metabolisme tubuh. Asam ferulat juga dapat bekerja secara sinergis dengan komponen antioksidan lain, seperti asam kafeat, vitamin C, dan betakaroten, untuk menghilangkan radikal bebas, peroksida, dan zat berbahaya potensial lain.

Hydrolyzed Rice Protein Product (Nutriskin) adalah suatu produk perawatan kulit dengan kandungan asam amino yang cukup beragam (Tabel 5) (Boyer *et al.*, 2017). Dalam kosmetika, “serum” merupakan bahan cair yang kandungannya sebagian besar asam amino, dan penggunaannya dioleskan langsung ke kulit. Kandungan asam amino yang terdapat pada bekatul diketahui sangat sesuai untuk memberikan efek perlindungan kulit.

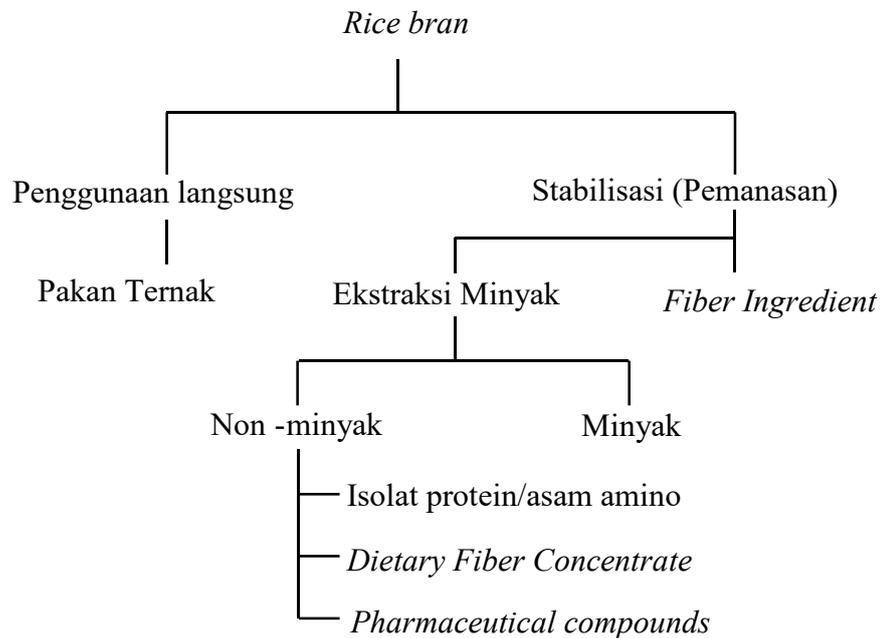
Tabel 5. Komposisi Asam Amino pada *Nutriskin**

Asam amino	Persentase
Asam glutamat	18,5
Arginin	10,5
Leusin	9,2
Tirosin	9,1
Phenilalanin	8,1
Asam aspartat	8,0
Serin	7,6
Alanin	6,1
Glisin	4,6
Valin	4,6
Lisin	4,0
Threonin	3,3
Histidin	3,0
Isoleusin	2,0
Methionin	1,1

Sumber : Boyer *et al.*, 2017

Cara Mengonsumsi Bekatul

Pada Gambar 4 ditampilkan pohon industri pemanfaatan bekatul. Dengan proses stabilisasi menggunakan suhu dan waktu tertentu (pemanasan) akan dapat dihasilkan *fiber ingredient* dan proses ekstraksi yang selanjutnya dapat menghasilkan minyak dan bahan non-minyak. Tepung bekatul dapat digunakan sebagai bahan substitusi roti, *cookies*, dan minuman berserat. Untuk dijadikan sebagai penganan, bekatul dapat dicampur dengan bahan lain pada pembuatan biskuit, kue, produk *breakfast cereal*, dan lain-lain. Substitusi 15 persen bekatul padi dalam tepung terigu, dilaporkan memberikan hasil yang optimal penerimaan konsumen pada produk kue kering dan roti manis.



Gambar 4. Pohon Industri Pemanfaatan Rice Bran (Modifikasi dari Boyer *et al.*, 2017)

Pemanfaatan bekatul menjadi produk minyak bekatul (*rice bran oil* atau RBO) telah lama dilakukan di beberapa negara maju, khususnya di Jepang dan Amerika Serikat. RBO merupakan salah satu minyak yang telah dijual di masyarakat umum. Dalam betuk RBO digunakan dalam sebagai ingredien bahan pangan, seperti pada produk *snacks* (makanan ringan), pengolahan margarin, dan pengolahan mayonais. Selain digunakan dalam industri pangan, dimana bekatul dimanfaatkan sebagai bahan baku industri farmasi dan industri kecantikan.

Potensi dan peluang pemanfaatan bekatul sebagai bahan baku ingredien sangat potensial untuk kalangan industri sebagai peluang usaha baru, bagi pemerintah, dan tentu bagi masyarakat luas. Jumlah bekatul yang melimpah, karena negeri ini mayoritas menjadikan beras

sebagai pangan pokoknya, menjadikan peluang ini semakin besar dan tidak akan mendapat hambatan dalam penyediaan bahan baku. Keberadaan industri baru ini nantinya, bisa menjadikan bekatul lebih bernilai, membuka peluang usaha baru, membuka lapangan pekerjaan baru, dan tentu akhirnya akan meningkatkan devisa negara, untuk menuju masyarakat kita yang lebih sejahtera.

Daftar Pustaka

- Aguilar-Garcia C, Gavino G, Baragano-Mosqueda M, Hevia P, & Gavino V.C. 2007. Correlation of tocopherol, tocotrienol, c-oryzanol and total polyphenol content in rice bran with different antioxidant capacity assays. *Food Chemistry*, 102, 1228-3.
- Amarasinghe B.M.W.P.K, & Gangodavilage N.C. 2004. Rice bran oil extraction in Sri Lanka: Data for process equipment design. *Food and Bioproducts Processing*, 82, 54-59.
- Ardiansyah, Shirakawa H, Koseki T, Ohinata K, Hashizume K, & Komai M. 2006. Rice bran fractions improve blood pressure, lipid profile, and glucose metabolism in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 1914-1920.
- Ardiansyah, David W, Handoko D.D, Kusbiantoro B, Budijanto S, & Shirakawa H. 2019. Fermented rice bran extract improves blood pressure and glucose in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Nutrition & Food Science*, 49, 844-853.
- Ardiansyah, Sabilla D, David D, Handoko D.D, & Budijanto, S. 2020. Perubahan aktivitas antioksidan dan profil sensori bekatul fermentasi dari varietas sintanur dan inpari 24. *Agritech* 40, 150-160.
- Ausman L.M, Rong N, & Nicolosi R.J. 2005. Hypocholesterolemic effect of physically refined rice bran oil: Studies of cholesterol metabolism and early atherosclerosis in hypercholesterolemic hamsters. *Journal of Nutritional Biochemistry* 16, 521-529.
- Bhosale S. & Vijayalakshmi D. 2015. Processing and nutritional composition of rice bran. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 3, 74-80.
- Boyer I.J, Bergfeld W.F, Heldreth B, Fiume M.M, & Gill L.J. 2017. The cosmetic ingredient review program-expert safety assessments of cosmetic ingredients in an open forum. *International Journal of Toxicology*, 36, 5S-13S.
- BPS. 2019. Luas panen dan produksi padi di indonesia tahun 2019. Jakarta, Indonesia: Badan Pusat Statistik.

- Chuo T.W, Ma C.Y, Cheng H.H, Chen Y.Y, & Lai M.H. 2009. A rice bran oil diet improves lipid abnormalities and suppress hyperinsulinemic responses in rats with streptozotocin/nicotinamide-induced type 2 diabetes. *Journal Clinical Biochemistry Nutrition*, 45, 29-36.
- El-Din N.K.B, Noaman E, & Ghoneum M. 2008. In vivo tumor inhibitory effects of nutritional rice bran supplement mgn-3/biobran on ehrlich carcinoma-bearing mice. *Nutrition and Cancer*, 60, 235-244.
- FAO. 2019. Crops production. Retrieved from Food and Agricultural Organization of United States: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Henderson A.J, Ollila C.A, Kumar A, Borresen E.C, Raina K, Agarwal R, & Ryan E.P. (2012). Chemopreventive properties of dietary rice bran: current status and future prospects. *Advance in Nutrition Journal*, 3, 643-653.
- Ismail M, Al-Naqeeb G, Mamat W.A.A, & Ahmad Z. 2010. Gamma-oryzanol rich fraction regulates the expression of antioxidant and oxidative stress related genes in stressed rat's liver. *Nutrition & Metabolism*, 7, 23.
- Komiyama Y, Andoh A, Fujiwara D, Ohmae H, Araki Y, Fujiyama Y, Mitsuyama K, & Kanauchi O. 2010. New prebiotics from rice bran ameliorate inflammation in murine colitis models through the modulation of intestinal homeostasis and the mucosal immune system. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 46, 40-52.
- Lemos M.R.B., & Souza-Soares LA. 2000. Rice and its byproducts in southern Brazil. *FURG, Rio Grande*, 21-36.
- Rao B.N. 2000. Nutritive value of rice bran. *Nutrition Foundation of India Bulletin*, 5-8.
- Saija A, Tomaino A, Cascio R.L, TRobetta D, Proteggente A, Pasquale A.D, Uccella N, & Bonina F. 1999. Ferulic and caffeic acids as potential protective agents against photooxidative skin damage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 476-480.
- Shih F.F. 2003. An update on the processing of high-protein rice products. *Nahrung*, 47, 420-424.
- Shin H.Y, Kim S.M, Lee J.H, & Lim S.T. 2019. Solid-state fermentation of black rice bran with *Aspergillus awamori* and *Aspergillus oryzae*: Effects on phenolic acid and antioxidant activity of bran extract. *Food Chemistry*, 272, 235-241.
- Sugano M, & Tsuji E. 1997. Rice bran oil and cholesterol metabolism. *Journal of Nutrition*, 127, 521S-524S.

- Swastika, N. D. 2009. Stabilisasi tepung bekatul melalui metode pengukusan dan pengeringan rak serta pendugaan umur simpannya. Skripsi. Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Wang L, Li X, & Chen Z. 2009. Sulfated modification of the polysaccharides obtained from defatted rice bran and their antitumor activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 44, 211-214.
- Wilson T.A, Nicolosi R.J, Woolfrey B, & Krischevsky D. 2007. Rice bran oil and oryzanol reduce plasma lipid and lipoprotein cholesterol concentrations and aortic cholesterol ester accumulation to a greater extent than ferulic acid in hypercholesterolemic hamsters. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 18, 105-112.
- Zulfafamy K.E, Ardiansyah, & Budijanto S. 2018. Antioxidative properties and cytotoxic activity against colon cancer cell Widr of *Rhizopus oryzae* and *Rhizopus oligosporus* fermented black rice bran extract. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 6 (1).

Chapter 2

INOVASI TEKNOLOGI PERTANIAN UNTUK PENGEMBANGAN AGRO-INDUSTRI BERBASIS PANGAN LOKAL

**Anton Rahmadi, Yudha Agus Prayitno, Kartika Sari, Agustu Sholeh
Pujokaroni, Miftahur Rohmah**

INOVASI TEKNOLOGI PERTANIAN UNTUK PENGEMBANGAN AGRO-INDUSTRI BERBASIS PANGAN LOKAL

**Anton Rahmadi*, Yudha Agus Prayitno, Kartika Sari, Agustu Sholeh Pujokarone,
Miftahur Rohmah**

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman

Email: arahmadi@unmul.ac.id

Pendahuluan

Ketahanan pangan merupakan kondisi terpenuhinya kebutuhan pangan bagi rumah tangga yang cukup, aman, bermutu, bergizi, beragam, serta harganya terjangkau oleh daya beli masyarakat (Indah dan Setyaningsih, 2020). Dari pengertian ini, maka pangan harus terpenuhi tidak hanya dari aspek kuantitatif (cukup), namun juga mencakup aspek kualitatif yang meliputi aman, bermutu, dan bergizi. Permintaan pangan akan terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, dan akan terus mengalami peningkatan yang belum pernah terjadi sebelumnya dikarenakan perkiraan jumlah penduduk dunia akan mencapai sembilan miliar pada tahun 2050 (Frona *et al.*, 2019). Sebagian besar populasi ini tinggal di negara berkembang yang memiliki pendapatan lebih tinggi, dan menginginkan jenis makanan yang lebih banyak dan bergizi. Hal ini tidak sebanding dengan tingkat pertumbuhan produktivitas pertanian yang terus melambat, diperkirakan dalam dua dekade mendatang hanya terjadi peningkatan sebesar 1% untuk seluruh dunia.

Dalam pemenuhan pangan masyarakat, tambahan lahan pertanian dibutuhkan agar dapat mendukung terpenuhinya pasokan pangan. Namun hal ini memiliki kendala dan tantangan yang harus dihadapi diantaranya terjadi penurunan laju produktivitas hasil pertanian, alih fungsi lahan pertanian menjadi lahan non-pertanian, upaya perluasan lahan yang sulit dilakukan dan jumlah penduduk yang terus bertambah (Sumaryanto, 2009). Oleh sebab itu, diperlukan alternatif lain guna mendukung pemenuhan kebutuhan pangan oleh masyarakat. Pengembangan produk pangan lokal diharapkan dapat mendukung tersedianya kebutuhan pokok yang diperlukan oleh masyarakat.

Pangan lokal merupakan produk pangan yang telah lama diproduksi, berkembang dan dikonsumsi di suatu daerah atau suatu kelompok masyarakat lokal tertentu. Produk pangan lokal umumnya diolah dari bahan baku lokal, teknologi lokal, dan pengetahuan lokal dengan preferensi produk yang akan dikembangkan sesuai dengan preferensi masyarakat daerah tersebut (Umanailo, 2018). Indonesia memiliki 77 jenis pangan sumber karbohidrat, 75 jenis

pangan sumber protein, 110 jenis rempah dan bumbu, 389 jenis buah-buahan, 228 jenis sayuran, 26 jenis kacang-kacangan, dan 40 jenis minuman (Hermanto, 2016). Beberapa bahan pangan lokal Indonesia yang memiliki potensi cukup tinggi antara lain ubi kayu atau singkong, ubi jalar, jagung, sorgum, ganyong, garut, porang yang belum dimanfaatkan dengan maksimal. Dengan potensi yang sangat besar ini, sudah semestinya masyarakat Indonesia mampu untuk melakukan diversifikasi pangan, yaitu tidak terpaku pada satu jenis makanan pokok saja, sehingga kebutuhan pangan dan gizi dapat terpenuhi. Asumsi di masyarakat bahwa beras merupakan bahan pangan pokok di Indonesia, meski di beberapa daerah di Indonesia mengkonsumsi jagung, sagu, dan ubi jalar sebagai bahan pangan pokok.

Selama beberapa dekade terakhir, telah dilakukan berbagai upaya dalam peningkatan kebutuhan pangan dan pertumbuhan produk pangan lokal dengan melakukan inovasi teknologi pada bidang agroindustri. Penerapan inovasi teknologi ini telah memainkan peranan penting dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan ketahanan pangan. Di beberapa negara berkembang, pemerintah telah menerapkan inovasi pertanian yang relevan terhadap produk asli mereka, sehingga muncul kolaborasi yang saling membutuhkan antara pemenuhan kebutuhan pangan dan penerapan inovasi teknologi. Pemanfaatan pangan lokal dengan didukung oleh perkembangan teknologi di bidang agroindustri secara masif dinilai mampu memberikan kontribusi positif. Teknologi dapat berperan sebagai penghubung tumbuhnya agroindustri pangan lokal yang dapat menggerakkan masyarakat dan diversifikasi pangan secara simultan untuk memperkuat ketahanan pangan nasional (Rauf dan Lestari, 2017).

Dari uraian diatas, makalah ini bertujuan untuk memberikan informasi dan contoh peran akademisi dari Universitas Mulawarman dalam menjawab tantangan untuk pemenuhan kebutuhan pangan dan peran teknologi dalam pengembangan inovasi produk pangan lokal di tahun 2020.

Peranan Teknologi Pertanian dalam Menjawab Tantangan

Pemenuhan pangan lokal masih menjadi tantangan dalam dunia pangan. Sampai saat ini, beras masih merupakan komoditas pangan utama yang menjadi parameter kecukupan pangan masyarakat Indonesia (Santosa dan Sudrajat, 2017). Hal ini juga dipengaruhi oleh kebijakan pemerintah Indonesia yang menjadikan produksi dan ketersediaan beras sebagai basis kebijakan pangan, sehingga budaya pangan lokal bergeser menjadi beras dari pangan lokal seperti singkong, umbi-umbian, jagung, sagu, dan pangan lokal lainnya (Suharko, 2019). Dari sisi pemenuhan pangan lokal, teknologi pertanian dapat menjadi solusi dalam peningkatan

produksi pangan ke depan agar tidak lagi bertumpu pada beras dan produksi aneka ragam bahan pangan dengan berorientasi pada pengembangan komoditas pangan lokal. Untuk menjadikan suatu kawasan dapat memenuhi kebutuhan pangan lokal, maka terdapat tiga konsep atau pilar yang harus dijaga yang dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsep Ketahanan, Kemandirian, dan Kedaulatan Pangan

Berdasarkan Konsep Ketahanan Pangan	Berdasarkan Konsep Kemandirian Pangan	Berdasarkan Konsep Kedaulatan Pangan
Ketersediaan Pangan: Pangan yang dapat diperoleh secara lokal – baik yang bersumber dari produk lokal, bibit introduksi, maupun pangan dipasarkan secara lokal.	Ketersediaan Pangan: Pangan yang dapat diperoleh secara lokal – diproduksi secara lokal (sumber bibit dari mana saja) dan dipasarkan untuk kebutuhan lokal.	Ketersediaan Pangan: Pangan yang dapat diperoleh secara lokal – diproduksi secara lokal (sumber bibit dari plasma nutfah lokal) dan dipasarkan untuk kebutuhan lokal
Daya Beli Pangan: Masyarakat dapat membeli pangan lokal dengan sumber-sumber kemampuan ekonomi yang beragam (penghasilan masyarakat, subsidi negara, pinjaman/kredit)	Daya Beli Pangan: Masyarakat dapat membeli pangan lokal dengan sumber-sumber kemampuan ekonomi yang berasal dari perputaran uang di dalam negeri (penghasilan masyarakat, subsidi negara yang bersumber dari pajak)	
Keamanan dan Kandungan Nutrisi Pangan yang dapat dimanfaatkan: Sumber-sumber nutrisi pangan (termasuk suplemen) yang aman dan berkualitas berasal dari produk lokal, bibit introduksi, maupun pangan dipasarkan secara lokal.	70% Diproduksi dari Kawasan Mandiri Pangan, Kawasan Penyangga Mandiri Pangan; Sumber bibit dapat dari mana saja, termasuk bibit introduksi; Saprotan dapat berasal dari mana saja.	70% Diproduksi dari Kawasan Mandiri Pangan, Kawasan Penyangga Mandiri Pangan; Sumber bibit berasal dari pengembangan varietas lokal; Saprotan dapat berasal dari produksi dalam negeri.
Konsistensi Menjaga tiga pilar di atas		

Diversifikasi pangan adalah salah satu upaya efektif untuk mendukung perkembangan industri pengolahan pangan berbasis sumberdaya lokal. Sumaryanto (2009) menyebutkan bahwa diversifikasi pangan berbasis bahan pangan lokal kondusif untuk mendukung stabilitas ketahanan pangan sehingga dapat dipandang sebagai salah satu pilar pemantapan ketahanan pangan. Dalam upaya untuk mewujudkan hal tersebut, pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden (Perpres) No. 22 Tahun 2009 tentang Kebijakan Percepatan Penganekaragaman Konsumsi Pangan berbasis sumber daya lokal. Melalui kebijakan ini diharapkan mampu memberikan daya ungkit yang kuat bagi penyediaan aneka ragam pangan berbasis potensi

sumber daya lokal. Selain itu, sebagai tindak lanjut dari Peraturan Presiden (Perpres), telah diterbitkan Peraturan Menteri Pertanian (Permentan) Nomor 43 Tahun 2009 tentang Gerakan Percepatan Penganekaragaman Konsumsi Pangan Berbasis Sumber Daya Lokal (Hastuti 2013). Terdapat beberapa kriteria sebagai penilaian bahwa suatu wilayah dikatakan mampu memenuhi kebutuhan pangan “lokal”, yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria kawasan sebagai kawasan mandiri pangan

”Lokal”				
Desa/ Kelurahan	Kecamatan/ Kawasan	Kabupaten/ Kota	Propinsi	Negara
Desa Mandiri Pangan: Desa yang mampu mencukupi 70 % kebutuhan pangan pokoknya dari hasil produksi sendiri	Kawasan Mandiri Pangan: Terdiri dari minimal 5 kampung/ desa dalam satu Kawasan	Kawasan Penyangga Mandiri Pangan: Wilayah kabupaten/ kota/ propinsi yang mampu mencukupi kebutuhan pangan pokoknya dari hasil Kawasan penyangga yang telah ditentukan		Kecukupan produksi pangan oleh negara, Kemudahan akses pangan, dan Keamanan pangan untuk dikonsumsi
Aspek: Kelembagaan Masyarakat; Pengentasan rawan pangan dan kemiskinan; dan Keberlanjutan Program	Aspek: Tahap Persiapan: kapasitas individu dan kelembagaan ekonomi; Tahap Penumbuhan: penumbuhan usaha-usaha kelompok; Tahap Pengembangan: pengembangan sarana dan prasarana; Tahap Kemandirian: peningkatan status gizi dan kesehatan; Strategi Keberlanjutan Kegiatan: pemantapan kelembagaan dan ekonomi Kawasan.			

Konsep ketahanan pangan lainnya dalam dunia pangan adalah aman (Indah dan Setyaningsih, 2020). Rasa keamanan dan keselamatan dalam mengkonsumsi makanan merupakan salah satu hak konsumen. Namun penyakit yang berasal dari makanan (*foodborne diseases*) yang disebabkan oleh patogen, racun, dan bahan kimia juga masih menjadi tantangan dalam dunia pangan (Feltus *et al.*, 2017). Sehingga regulasi mengenai keamanan pangan perlu dirancang dengan jelas. Di Indonesia terdapat regulasi mengenai keamanan pangan seperti UU 18/2012 tentang Pangan dan Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2004 tentang Keamanan, Mutu dan Gizi Pangan. Selain itu pemerintah juga membentuk Badan Pengawas Obat dan Makanan yang bertanggung jawab mengontrol rantai makanan mulai dari produksi, distribusi hingga konsumsi (Putri, 2018). Untuk menjamin keamanan dan memastikan suatu produk yang dihasilkan tidak membahayakan konsumen, maka industri pangan harus dapat menerapkan

sistem keamanan pangan dengan baik dari proses pengolahan produk pertanian hingga dikonsumsi oleh masyarakat.

Beberapa diantaranya adalah dengan menerapkan *Good Agricultural Practices* (GAPs), *Good Manufacturing Practices* (GMPs), *Sanitating Standard Operating Procedures* (SSOPs), *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP) dan peraturan lainnya yang dijelaskan secara singkat pada Tabel 3.

Tabel 3. Praktik sistem keamanan pangan

No	Sistem keamanan pangan	Deskripsi
1	<i>Good Agricultural Practices</i> (GAPs)	GAPs adalah praktik pengelolaan atau prosedur operasional pertanian yang mengurangi risiko mikroba atau mencegah kontaminasi buah dan sayuran di pertanian atau di tempat pengemasan (Bihn dan Reiners, 2018)
2	<i>Good Manufacturing Practices</i> (GMPs)	GMP menguraikan praktik penting yang harus diikuti untuk mengurangi bahaya kimiawi, fisik, dan mikroba yang mungkin ada di gedung dengan pintu, jendela, dan sekat yang menawarkan tingkat kontrol yang tidak ada di beberapa lapangan dan lingkungan pengepakan (Bihn dan Reiners, 2018)
3	<i>Sanitating Standard Operating Procedures</i> (SSOPs)	SSOP merupakan suatu prosedur untuk memelihara kondisi sanitasi yang berhubungan dengan seluruh fasilitas produksi atau area dan tidak terbatas pada tahapan tertentu atau titik kendali kritis (Wulandari, 2016)
4	<i>Hazard Analysis Critical Control Point</i> (HACCP)	HACCP atau analisis bahaya dan titik kontrol kritis adalah sistem manajemen yang digunakan untuk melindungi makanan dari bahaya biologis, kimiawi dan fisik. HACCP didasarkan pada kesadaran atau kekhawatiran bahwa bahaya akan muncul di berbagai titik atau tahap produksi, tetapi tindakan pengendalian dapat dilakukan untuk mengendalikan bahaya (Auliya dan Handoko, 2020)
5	<i>Standard Nasional Indonesia</i>	Standar yang berlaku dalam penggunaan suatu produk secara nasional dan ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) (Sumarto <i>et al.</i> , 2014)
6	Sertifikat Laik Sehat/ <i>Higiene</i>	Sertifikat laik sehat/higiene merupakan sertifikat yang dikeluarkan oleh Dinas kesehatan kepada pelaku usaha yang memiliki kelaikan fisik dan prinsip higiene sanitasi pada seluruh proses produksi makanan (Sawong <i>et al.</i> , 2016)
7	Peraturan Penggunaan Bahan Tambahan Pangan	Bahan Tambahan Pangan(BTP) adalah bahan yang ditambahkan ke dalam pangan untuk mempengaruhi sifat atau bentuk pangan yang peraturan penggunaannya dikeluarkan oleh BPOM (BPOM RI, 2012)

Lanjutan Tabel 3		
No	Sistem keamanan pangan	Deskripsi
8	Sistem Jaminan HALAL	Jaminan Halal dikeluarkan oleh lembaga otoritas Indonesia yang melaksanakan sertifikasi Halal, yaitu Majelis Ulama Indonesia (MUI) untuk tujuan memberikan pengakuan secara legal bahwa produk yang dikeluarkan oleh industri telah memenuhi ketentuan halal (Muslimah, 2012)
9	Peraturan Labelisasi Pangan	Ketentuan mengenai label pangan tertuang pada Peraturan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 tahun 1996 dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 69 Tahun 1999. Dalam peraturan tersebut disebutkan bahwa : label adalah setiap keterangan mengenai pangan yang berbentuk gambar, tulisan, kombinasi keduanya atau bentuk lain yang disertakan pada pangan, dimasukkan ke dalam, ditempelkan pada atau merupakan bagian kemasan pangan (Chotim dan Subhan, 2014)
10	Pangan Hasil Rekayasa Genetika	Pangan Produk Rekayasa Genetik adalah Pangan yang diproduksi atau yang menggunakan bahan baku, Bahan Tambahan Pangan, dan/atau bahan lain yang dihasilkan, dari proses rekayasa genetik yang peraturannya dituang dalam peraturan BPOM nomor 6 tahun 2018 tentang pengawasan pangan produk rekayasa genetic (BPOM RI, 2018)

Peranan Universitas sebagai Pengembang dan Pengkaji Penerapan Teknologi Pertanian untuk Agro-Industri

Agro-Industri merupakan penggerak utama dalam perkembangan sektor pertanian,. Oleh karena, bidang pertanian menjadi sektor andalan dalam pembangunan ketahanan nasional, maka dibutuhkan sumber daya manusia yang kompeten dan memiliki kecakapan tinggi agar mampu memajukan industri pertanian (Turniasih dan Dewi, 2007). Universitas melalui Tridharma Perguruan Tinggi yaitu pengajaran, penelitian, dan pengabdian masyarakat diharapkan dapat bersinergi bersama pemerintah dan petani dalam mengadopsi inovasi teknologi pertanian sehingga dapat memajukan pembangunan pertanian dan meningkatkan kualitas produk dari petani (Martina dan Shamadiyah, 2016). Universitas memiliki peran dalam menghasilkan mahasiswa calon ahli pangan sebagai penggerak inovasi pertanian dari hulu-hilir hingga ke pengolahan produk pertanian melalui proses pembelajaran. Berdasarkan permendikbud No. 03 Tahun 2020 tentang standar nasional pendidikan tinggi Pasal 1 Bulir 9, pembelajaran adalah proses interaksi mahasiswa dan dosen dengan sumber belajar pada suatu lingkungan belajar. Tidak hanya ruang kelas dan laboratorium, seperti lapangan, dunia maya

dan masyarakat dapat menjadi tempat pembelajaran efektif mahasiswa dalam meningkatkan keahliannya.

Beberapa pembelajaran yang ada, dapat dilakukan mahasiswa untuk meningkatkan kompetensinya selama menempuh pendidikan sebagai calon ahli pangan, diantaranya: mendesain konsep produk pangan, mempelajari instrumental mesin pengolahan pangan, analisis mutu pangan, praktik industri, belajar bercocok tanam dengan melakukan proyek di desa, melakukan tugas berkelompok untuk *problem solving*, mengikuti program transfer kredit, mengikuti seminar, termasuk juga *imparting skill*. Salah satu program pembelajaran yang juga dilakukan Universitas dalam implementasi memajukan pembangunan pertanian adalah Kuliah Kerja Nyata (KKN).

Kuliah Kerja Nyata (KKN) merupakan salah satu bentuk perwujudan dari Tri Dharma Perguruan Tinggi yakni pengabdian, sebagai upaya peningkatan pembangunan pertanian melalui program bangun desa. Program tersebut juga dapat dibarengi dengan program pengabdian masyarakat, program pembinaan, dan hibah peralatan, sehingga dapat terlaksananya kerjasama pembinaan desa/kampung. Skema pelaksanaan KKN ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pelaksanaan KKN

Gambar 1 menggambarkan skema pelaksanaan KKN yang dapat dilakukan dalam upaya membangun desa. Melalui kegiatan KKN, maka potensi desa dapat dikaji dengan maksud agar pembinaan desa lebih tepat sasaran. Terdapat beberapa hal yang dapat dilakukan diantaranya; pendampingan legalitas usaha, pelatihan penerapan teknologi sederhana, pendampingan membuat *cash flow management*, peningkatan kualitas produk, pendampingan *quality control*, pemasaran, hingga *payment interface*. Kegiatan ini nantinya dapat diklaim sebagai merdeka belajar perguruan tinggi yang dilakukan oleh mahasiswa melalui program bangun desa. Lomba

inovasi sebagai terusan dari pelaksanaan KKN diharapkan dapat menghasilkan publikasi dan HKI bersama, juga mahasiswa sebagai sumber daya manusia yang kompeten untuk memajukan industri pertanian. Peran dosen sebagai penggerak juga dapat terimplementasi melalui program.

Inovasi Teknologi Pertanian pada Produk Pangan

Indonesia mempunyai potensi penghasil produk pertanian yang melimpah. Produk pertanian dari berbagai macam jenis serta kandungan yang ada di dalamnya seperti karbohidrat, protein, minyak serta produk pertanian lainnya yang berpotensi sebagai produk pangan fungsional. Upaya pengembangan produk pangan tersebut dapat dijadikan sebagai sumber pemenuhan kebutuhan pangan berbasis pangan lokal, dengan peran teknologi pertanian didalamnya. Berdasarkan hal tersebut, maka diharapkan Indonesia dapat memenuhi kriteria ketahanan pangan.

Pada saat ini tuntutan konsumen terhadap produk pertanian semakin meningkat, sehingga perlu dilakukan diversifikasi dan diferensiasi serta inovasi setiap produk demi menjadi nilai tambah ekonomi setiap produk pertanian. Sebagai contoh, Rumah produksi pasca panen dan pusat pasca panen dan pengolahan tanaman obat (P4TO) dan laboratorium pasca panen dan pengemasan hasil pertanian jurusan teknologi hasil pertanian Universitas Mulawarman bekerja sama dengan Kebun penelitian Teluk dalam fakultas pertanian Universitas Mulawarman dan PUI-PT OKTAL lembaga penelitian dan pengabdian kepada masyarakat Universitas Mulawarman guna melakukan inovasi pada produk pangan lokal berbasis karbohidrat, protein, minyak dan pengembangan produk pangan fungsional yang berkaitan dengan aspek gizi, mutu dan keamanan pada produk yang dihasilkan. Beberapa inovasi teknologi pertanian terhadap produk-produk hasil pertanian diantaranya adalah:

a. Inovasi Teknologi Pertanian untuk Produk berbasis Karbohidrat

Pola konsumsi masyarakat sampai saat ini masih tertuju pada pola konsumsi produk padi-padian yang mendominasi karbohidrat. Sebagian besar penduduk Indonesia masih mengkonsumsi sumber karbohidrat dari beras, sehingga daerah yang dulunya mengkonsumsi pangan sumber karbohidrat non beras, seperti sagu, jagung dan umbi-umbian saat ini beralih mengkonsumsi beras. Dengan permintaan beras yang meningkat dan terus bertambahnya jumlah penduduk, menyebabkan penyediaan beras setiap tahunnya semakin berat. Selain itu,

dengan pola konsumsi yang tidak seimbang dan beragam akan memunculkan efek yang kurang baik bagi kesehatan (Utami dan Budiningsih, 2015).

Penganekaragaman konsumsi pangan sumber karbohidrat non beras perlu ditingkatkan, melalui pengembangan produk pangan lokal berbasis karbohidrat dengan dukungan teknologi diharapkan inovasi-inovasi baru dapat tercipta. Pemanfaatan produk pangan lokal seperti sagu, jagung, umbi-umbian, labu sudah banyak dikembangkan menjadi tepung modifikasi. Dari tepung modifikasi ini diharapkan kedepannya dapat mensubstitusi beras dan tepung terigu sebagai sumber karbohidrat. Dengan dukungan teknologi pengolahan yang tepat dapat menjadikan aneka tepung ini produk yang dapat disajikan bersamaan dengan beras sebagai menu utama sehari-hari serta dapat mendorong dan mengembangkan penganekaragaman pangan berbasis pangan lokal (Ariani *et al.*, 2013).

Beberapa contoh pangan lokal sumber karbohidrat yang dapat dikembangkan sebagai substitusi beras. Produk olahan jagung meliputi tepung jagung, pati, nasi jagung, dan aneka cemilan. Produk olahan ubi kayu meliputi tepung mocaf, tapioca, geplek, keripik dan aneka makanan tradisional. Produk olahan sagu seperti bubur sagu. Produk olahan talas antara lain tepung dan keripik. Produk olahan umbi jalar, merupakan komoditas sumber karbohidrat nomor empat setelah padi, jagung dan ubi kayu. Ubi jalar mengandung senyawa antosianin yang dapat menangkal radikal bebas, serta memiliki indeks glikemi yang rendah sehingga bermanfaat sebagai pangan fungsional.

Dari beberapa produk pangan lokal diatas, tepung yang dihasilkan dapat diolah menjadi beras analog, sehingga ketergantungan masyarakat akan sumber karbohidrat dari beras dapat dikurangi. Beras analog juga dapat disubstitusi dengan penambahan unsur lain seperti protein untuk meningkatkan kualitasnya.

b. Inovasi Teknologi Pertanian untuk Produk berbasis Protein

Pemenuhan pangan yang bergizi dan aman sangat diperlukan bagi masyarakat. Salah satu unsur penting yang dibutuhkan oleh tubuh adalah ketersediaan protein dalam asupan sehari-hari kita. Sumber protein dari hewani, kacang-kacangan dan hasil perikanan yang biasandigunakan untuk pemenuhan asupan protein pada tubuh kita. Khususnya untuk hasil perikanan yang sampai saat ini masih menjadi sumber utama karena tingginya kandungan proteinnya dan asam lemak esensial yang sangat potensial untuk kebutuhan gizi masyarakat. Namun, produk ikan ini memiliki beberapa kendala, seperti cepat mengalami kerusakan, masa simpan yang relatif singkat dan kurang menarik bagi masyarakat pada umumnya. Oleh karena

itu, diperlukannya perbaikan yang mengarah pada peningkatan masa simpan dan keamanan produk sekaligus dapat menarik perhatian dari masyarakat (Irianto dan Giyatmi, 2020).

Dengan dilakukan pendampingan dan pelatihan pada kampung nelayan dapat merubah kebiasaan para nelayan yang dapat mempengaruhi produktivitas dan keamanan produk (Rahmadi, 2020). Hal pertama yang diperbaiki adalah bagaimana meningkatkan kesadaran para nelayan mengenai pentingnya pengemasan produk yang terus dijaga ke higienisannya, sehingga setelah pelatihan ini produk yang dihasilkan dapat tetap terjaga keamanannya. Penggunaan cap dan kemasan yang menggunakan *food grade*, proses penyimpanan yang terpisah dengan tempat pengolahan agar tidak terjadi kontaminasi silang selama proses pengemasan, serta sanitasi alat dan tempat yang harus dijaga kebersihannya agar memperoleh produk yang berkualitas dan aman untuk dikonsumsi merupakan beberapa hal yang ingin dicapai untuk memperbaiki sistem pengemasan. Hal kedua yang dilakukan adalah upaya meningkatkan umur simpan dari produk berbasis ikan yang terkontrol. Penentuan masa kadaluarsa produk yang belum terukur dan perhitungan kadaluarsa produk yang masih bersifat perkiraan menyebabkan tingkat keamanan produk menjadi tidak terjamin. Perbaikan yang dilakukan adalah dengan menghitung kadaluarsa produk dengan melakukan metode cicip/visual dengan mengamati perubahan warna, rasa, dan lender yang mungkin timbul sebagai akibat produk sudah masuk masa kadaluarsa (Tabel 4).

Setelah perbaikan yang dilakukan untuk mengurangi titik kritis yang terjadi, maka pengemasan yang kreatif dan inovatif diperlukan untuk dapat menarik minat dari konsumen. Melalui pendampingan pada kampung nelayan ini kondisi pengemasan dan labeling yang awalnya masih sederhana dengan informasi pada label yang tidak lengkap, akan dirubah menjadi kemasan baru yang lebih kreatif dan memberikan informasi pada label yang lebih lengkap serta informatif sehingga dapat menarik perhatian dan minat konsumen. Beberapa produk pangan lokal berbasis ikan antara lain ikan asin, ikan asap, bakso ikan, nugget ikan dan aneka cemilan ikan.

Tabel 4. Inovasi produk nelayan di Talisayan (Berau)

Titik Kritis	Pra-Pendampingan (Kondisi Semula)	Pendampingan (Kondisi Menjadi)
Pengemasan produk	Proses pengemasan produk yang belum terkontrol higienisnya	Kemasan yang digunakan dan capnya harus food grade dan disimpan di tempat terpisah dari bagian pengolahan untuk mencegah kontaminasi silang dalam proses pengemasan. Sanitasi alat dan tempat yang digunakan perlu dikontrol untuk memastikan kualitas dan keamanan bakso dan bakso tahu ikan
Pengukuran shelf-life atau umur simpan	Umur simpan produk olahan ikan belum diukur, sehingga perhitungan kadaluarsa masih bersifat perkiraan	Perhitungan kadaluarsa dapat dilakukan dengan metode cicip/visual dengan mengamati perubahan warna, rasa, dan lendir yang mungkin timbul sebagai akibat produk yang masuk masa kadaluarsa.
Pengemasan dan labelling olahan ikan	Pengemasan sederhana dan label yang tidak lengkap	Mendapatkan desain kemasan baru yang lebih kreatif dengan informasi label yang lebih lengkap dan informative, sehingga bisa menjadi produk oleh-oleh kampung Talisayan

c. Inovasi Teknologi Pertanian untuk Produk berbasis Minyak

Pemanfaatan minyak sawit dan inti sawit untuk produk pangan lebih mengarah kepada stabilitasnya dalam semi solid pada suhu ruang serta digunakan sebagai substitusi lemak hewani dan minyak nabati yang karakteristiknya tidak dapat menyamai kelapa sawit. Disamping karakteristik tersebut, minyak sawit dan turunannya memiliki harga yang relatif murah dibanding *soft-oil* atau minyak non tropis seperti minyak kedelai, minyak jagung, minyak canola, dan minyak rapeseed. Berbagai produk olah minyak sawit menjadi produk pangan,

antara lain adalah minyak goreng, *margarine*, *shortening*, *confectioneries fat*, *spread fat*, *cocoa butter alternatives* dan berbagai produk emulsifier (Feltes *et al.*, 2017). (Gambar 2)

Pemanfaatan minyak sawit pada produk pangan yang terbesar adalah sebagai minyak goreng, terutama di negara-negara yang *eating-habit*-nya banyak mengonsumsi makanan yang melalui proses penggorengan. Minyak goreng sawit terbukti memiliki karakter tahan panas yang tinggi dibandingkan minyak goreng berbasis minyak non tropis seperti minyak kedelai, minyak *canola*, dan minyak jagung. Minyak goreng sawit sangat sesuai dipakai di industri pangan yang membutuhkan minyak goreng dengan *durability* tinggi (memiliki karakter tahan panas yang tinggi dan tidak mudah teroksidasi), seperti industri mi instan, *snack*, dan makanan beku (*frozen foods*).

Salah satu pemanfaatan kandungan gizi pada produk turunan minyak sawit adalah kandungan β -carotene dan α -tocopherol yang penting bagi tubuh manusia. Dengan pengaturan suhu, tekanan dan waktu perlakuan diharapkan dapat mempengaruhi total β -carotene dan α -tocopherol yang dapat dipertahankan pada produk akhir yang dihasilkan.



Gambar 2. Derivasi produk turunan CPO menjadi β -carotene dan α -tocopherol

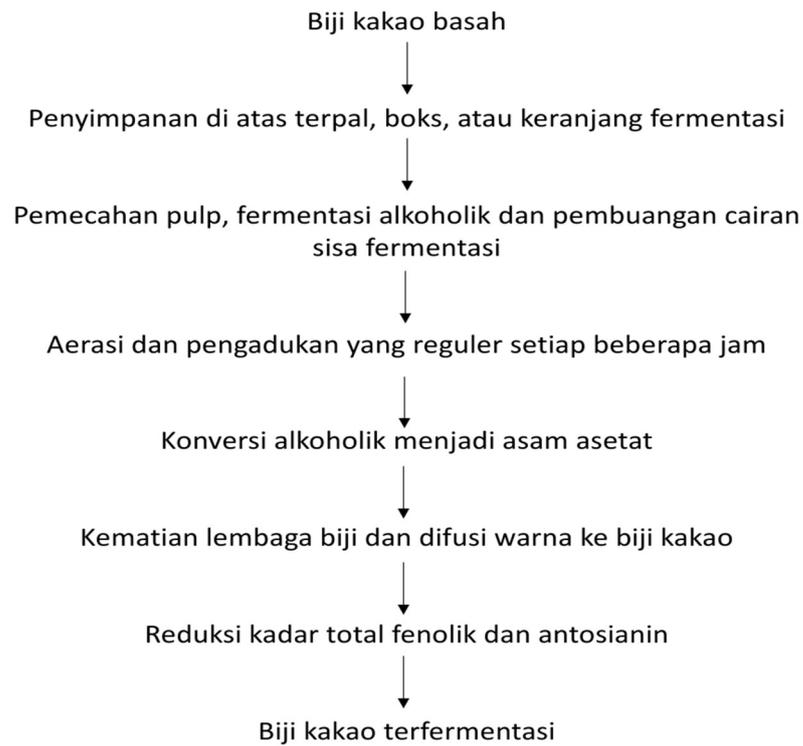
d. Inovasi Teknologi Pertanian untuk Produk berbasis Pangan Fungsional

Pangan fungsional merupakan pangan yang karena kandungan komponen aktifnya dapat memberikan manfaat bagi kesehatan selain manfaat lain berupa zat-zat gizi yang terkandung didalamnya, dengan persyaratan sensori, nutrisi dan fisiologis yang terpenuhi

(Suter, 2013). Beberapa produk pangan lokal hasil fermentasi yang potensial dijadikan pangan fungsional karena kandungan gizi dan manfaatnya bagi manusia, antara lain: Mandai cempedak, jarak tegarun, asam kompak, minyak kelapa murni, tempoyak durian dan biji kakao. Khususnya untuk biji kakao, sistem pasca panen dan pengolahan yang baik sangat diperlukan untuk dapat memanfaatkan produk ini secara maksimal. Rendahnya kesadaran para petani biji kakao untuk melakukan proses yang sesuai standar menyebabkan penolakan oleh pasar yang lebih besar. Seperti masih terdapatnya jamur, serangga, dan biji yang rusak akibat dari jamur dan serangga merupakan aspek yang membuat biji kakao hasil olah para petani banyak mendapat penolakan untuk pasar ekspor.

Pemilihan bibit yang baik, tanah dan iklim yang sesuai untuk pertumbuhan, pengelolaan kebun yang baik, pemanenan dan pemilihan buah kakao yang baik, pengolahan pasca panen yang baik serta pengolahan intermediet dan lanjutan merupakan langkah yang harus dilalui untuk mendapatkan produk biji kakao yang dapat diterima oleh pasar dan menjamin keamanan pangan ketika dikonsumsi oleh masyarakat (Rahmadi, 2020).

Dalam pengolahan biji kakao untuk memperoleh hasil yang berkualitas dan aman ada beberapa titik kritis yang harus diperhatikan dan dilakukan dengan baik dan benar (Rahmadi, 2020). Titik kritis pertama, tahap pemilihan biji yang berkualitas. Dalam prosesnya biji dipanen dalam kondisi matang, setiap pekerja menggunakan sarung tangan. Ketika memanen dan pemisahan antara biji prima dan non-prima. Titik kritis kedua, tahap fermentasi biji kakao. Pada tahapan ini terjadi proses pembentukan rasa, menurunkan kadar antosianin dan menurunkan pencemaran jamur. Proses fermentasi yang tidak maksimal akan menyebabkan kontaminasi dari jamur akan terus bertambah sehingga meningkatkan tingkat keasaman dari biji kakao dan akan mempengaruhi rasa dari biji kakao (Gambar 3). Titik kritis ketiga, merupakan tahap pengeringan dimana kadar air biji kakao dikurangi sampai sekitar 7 % sehingga proses pertumbuhan jamur dapat terhenti namun proses fermentasi masih dapat terus berlanjut. Proses ini sebaiknya dilakukan dengan panas yang sama dan merata pada seluruh bagian biji kakao untuk memaksimalkan prosesnya. Titik kritis keempat merupakan tahapan roasting dimana cita rasa khas kakao dibentuk pada tahapan ini. Pada tahapan ini suhu roasting dan waktu merupakan faktor penting agar hasilnya bisa optimal. Bila prosesnya lebih cepat aroma asam yang akan muncul dan aroma khas kakao tidak keluar, sementara bila prosesnya berlangsung lebih lama aroma gosong yang lebih dominan sementara aroma kakao akan hilang.



Gambar 3. Fermentasi biji kakao sebagai bagian peningkatan kualitas produk pangan fungsional

Kesimpulan

Pemenuhan pangan akan selalu diperlukan selama peradaban manusia masih ada. Peningkatan kebutuhan pangan yang terus meningkat seiring dengan jumlah pertumbuhan penduduk dan berkurangnya lahan pertanian menyebabkan dukungan dari teknologi pertanian menjadi sangat penting. Inovasi dari teknologi pertanian mendukung pemenuhan kebutuhan pangan, serta dapat mengembangkan dan meningkatkan ekonomi masyarakat berbasis agro-industri. Keberagaman produk pangan lokal di Indonesia diharapkan dapat mendukung pemenuhan pangan pokok masyarakat, dengan melakukan diversifikasi produk pangan dan dukungan dari pihak terkait seperti diantaranya pemerintah, akademisi, petani dan pelaku bisnis. Potensi besar yang dapat dikembangkan untuk produk Agro-industri antara lain jagung, ubi jalar, sagu, sawit, kopi-kakao dan produk pangan berbasis protein.

Daftar Pustaka

Ariani M., Gatoet H., Hardono S., Tonny S., Wahyudi S., Sosial P.E., Pertanian K., Penelitian B., & Pengembangan D. (2013). Laporan Kegiatan Kajian Isu-Isu Aktual Kebijakan Pembangunan Pertanian 2013: Kajian Strategi Pengembangan Diversifikasi Pangan

Lokal.

- Auliya A., & Handoko F.N. (2020). The application of HACCP (Hazard analysis critical control point) in food production department. *Jurnal Sosial Humaniora Terapan* 2 (2), 101-106
- Bihn E. A., & Reiners S. (2018). Good agricultural practices and good manufacturing practices for vegetable production. *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing: Second Edition*, 1–2, 109–134.
- BPOM RI. (2012). *Pedoman Informasi Dan Pembacaan Standar Bahan Tambahan Pangan Untuk Industri Pangan Siap Saji Dan Industri Rumah Tangga Pangan*.
- BPOM RI. (2018). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 6 Tahun 2018 Tentang Pengawasan Pangan Produk Rekayasa Genetik*.
- Chotim M., & Subhan M. (2014). Evaluasi Penulisan Label Pangan Yang Tidak Lengkap Dan Iklan Pangan Menyesatkan Pada Industri Rumah Tangga Pangan Di Kabupaten Temanggung Tahun 2013. *Jurnal Riset Manajemen*, 1(1), 78–82.
- Feltes C.M.M., Arisseto-Bragotto A.P., & Block J.M. (2017). Food quality, food-borne diseases, and food safety in the Brazilian food industry. *Food Quality and Safety*, 1(1), 13–27.
- Frona D., Szenderak J., & Harangi-rakos M. (2019). The challenge of feeding the poor. *Sustainability*.
- Hastuti S. (2013). Kontribusi program percepatan penganekaragaman konsumsi pangan (P2KP) terhadap pendapatan kelompok wanita tani di Kelurahan Takkalala Kecamatan Wara Selatan Kota Palopo. *Jurnal Dinamika*. 4(2),19-31.
- Hermanto. (2016). *Diversifikasi Pangan Menuju Kemandirian Pangan : Pemikiran Untuk Implementasi Undang-Undang No 18/2012 Tentang Pangan*.
- Indah P.N., & Setyaningsih A. (2020). Kebijakan Food Security : Arah Kebijakan dan Strategi Ketahanan Pangan Pemerintah Indonesia. *Journal of Governance Innovation*, 2(1), 77-82
- Irianto H.E., & Giyatmi S. (2020). Modul 1: Prinsip dasar teknologi pengolahan hasil perikanan.
- Muslimah. (2012). Label halal pada produk pangan kemasan dalam perspektif perlindungan konsumen muslim. *Yustisia* 1 (2)
- Putri S.A. (2018). Challenge to Enforce Food Safety Law and Regulation in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175(1).
- Rahmadi A. (2020). *Inovasi Teknologi Pertanian untuk Pengembangan Agro- Industri berbasis*

Pangan Lokal.

- Rauf A.W., & Lestari S. (2017). Pemanfaatan Komoditas Pangan Lokal Sebagai Sumber Pangan Alternatif di Papua. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 28(2), 54–62.
- Santosa S.P., & Sudrajat. (2017). Kajian Ketersediaan Dan Kebutuhan Konsumsi Beras Di Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 6(4), 1–11.
- Sawong K.S.A., Andrias D.R., & Muniroh L. (2016). Penerapan Higiene Sanitasi Jasa Boga Pada Katering Golongan a2 Dan Golongan a3 Di Kota Palangka Raya Provinsi Kalimantan Tengah. *Media Gizi Indonesia*, 11(1), 1.
- Suharko. (2019). Mempertahankan Budaya Pangan Lokal Berbasis Jagung : Studi Kasus di Desa Pagerejo, Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah. *Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 57–64.
- Sumarto, Hariyadi P., & Purnomo E.H. (2014). Kajian Proses Perumusan Standar dan Peraturan keamanan Pangan di Indonesia. *PANGAN*, 23(2), 108–119.
- Sumaryanto. (2009). Diversification as One of the Food Security Pillars. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 27(2), 93–108.
- Suter I. K. (2013). Pangan Fungsional dan Prospek Pengembangannya. *Teknologi Pangan*, 1–17.
- Umanailo M.C.B. (2018). Ketahanan pangan lokal dan diversifikasi konsumsi masyarakat (Studi pada Masyarakat Desa Waimangit Kabupaten Buru). *SOCA: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, December 2018, 63
- Utami P., & Budiningsih S. (2015). Potensi Dan Ketersediaan Bahan Pangan Lokal Sumber Karbohidrat Non Beras Di Kabupaten Banyumas. *Dinamika Ekonomi & Bisnis*, 12(2), 150–158.
- Wulandari. (2016). Evaluasi aplikasi gmp dan ssop produksi bakso di laboratorium ruminansia besar (laruba) fakultas peternakan ipb wulandari.
- Turniasuh I., & Dewi N.K. (2007). Peranan sektor agroindustri dalam pembangunan nasional. *Jurnal geografi GEA*. 7(2), 1-9
- Martina & Shamadiyah N. (2016) Peran Perguruan Tinggi Dalam Transfer Inovasi Teknologi Pertanian Di Era Mea. In: Seminar Nasional bertemakan “Strategi Keberlanjutan Kedaulatan Pangan Menghadapi Masyarakat Ekonomi Asean”, 23 April 2016, Takengon.

Chapter 3

PEMBAKARAN LIMBAH PASCA PANEN: ASPEK KESELAMATAN DAN EKONOMI

Ni Nyoman Sulastri

PEMBAKARAN LIMBAH PASCA PANEN: ASPEK KESELAMATAN DAN EKONOMI

Ni Nyoman Sulastri

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana,
Badung-Bali
Email: sulastri@unud.ac.id

Pendahuluan

Limbah pasca panen (post-harvest crop residue) terdiri dari batang, daun, akar yang tertinggal di lahan setelah panen. Residu tersebut merupakan hasil panen terbesar pertanian. Berdasarkan penelitian oleh Badan Litbang Pertanian, residu padi yang berbentuk jerami menghasilkan 5-8 ton per hektar. Untuk jerami yang merupakan residu pasca panen tanaman padi, bobotnya dipengaruhi oleh varietas padi, kondisi air, cara budidaya dan panen, kesuburan tanah, iklim, ketinggian tempat serta perbandingan antara gabah dan jerami (Makarim *et al.*, 2007). Perbandingan bobot gabah dengan jerami (GSR) untuk setiap jenis tanaman dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai GSR pada beberapa jenis tanaman (Song *et al.*, 2013).

Tanaman	Padi	Jagung	Gandum	Sorghum	Kedelai	Sunflower	Hemp
Rasio	1	1.3	1.32	1.6	1.16	2.8	2

Dalam rangka mengurangi limbah pasca panen terutama padi, petani umumnya melakukan pembakaran di lahan sawah. Pembakaran ini berfungsi agar pengolahan sawah untuk musim tanam berikutnya tidak terhalangi oleh limbah tersebut. Selain itu jumlah jerami yang cukup besar tersebut tidak memerlukan waktu dan biaya yang besar dalam prakteknya. Pengelolaan jerami dengan cara pembedaan pada lahan sawah banyak dianjurkan untuk pengembalian nutrisi yang terkandung dalam jerami ke dalam tanah. Namun di beberapa tempat, dengan kondisi iklim yang tidak memungkinkan terjadi dekomposisi dengan cepat. Dengan kelembaban yang rendah, suhu yang relatif rendah dan kecepatan angin yang relatif tinggi, residu pertanian yang tertinggal di lahan akan memerlukan waktu yang relatif lama untuk terdekomposisi. Selain itu, jika adanya ancaman kecepatan angin yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya kebakaran (*wildfire*). Hal ini diperburuk jika pemanenan yang dilakukan terlambat pada daerah sub-tropis, sehingga menyebabkan tidak tersedianya cukup waktu untuk terjadinya dekomposisi karena musim dingin. Petani juga tidak akan mempunyai

cukup waktu untuk melakukan pengolahan tanah. Sehingga pembakaran residu pertanian pada kasus-kasus tertentu perlu dilakukan.

Pada pertanian organik, pengelolaan pertanian dengan memanfaatkan api digunakan untuk mengurangi penggunaan herbisida dalam mengontrol jumlah tanaman/rumput pengganggu. Di beberapa penelitian pembakaran residu pertanian dapat meminimalisir efek racun yang disebabkan oleh besarnya jumlah limbah pertanian yang tidak mengalami pelapukan di lahan (Morris *et al.*, 2009). Pada pembenaman jerami di lahan pertanian, dimana jerami ditanamkan pada kedalaman tanah yang cukup dangkal, dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan. Gangguan pertumbuhan ini terjadi pada saat fase munculnya anakan. Pemanfaatan api pada budidaya gandum digunakan untuk mengontrol beberapa penyakit yaitu contohnya penyakit karat hitam (*flag smut*), penyakit terpilin (*twist disease*) serta penyakit pada benih yang disebabkan oleh nematoda. Penyakit karat hitam dapat menyebabkan kehilangan hasil panen sekitar 5-20%. Di negara bagian California, Amerika Serikat, jerami padi dibakar setelah panen, untuk mengurangi jumlah residu dan penyakit busuk batang yang disebabkan oleh *Sclerotium oryzae* (Webster *et al.*, 1976), Pembakaran limbah hasil pertanian akan tetap menjadi alternatif pengelolaan residu pasca panen dengan mempertimbangkan kondisi spesifik suatu daerah serta efek pengeringan alami dan distribusi hasil pembakaran jerami yang seragam di lahan. Penggunaan api juga banyak dimanfaatkan untuk pengelolaan padang rumput untuk gembala ternak. Reintroduksi api yang dilakukan secara berkala dapat mengurangi pertumbuhan tumbuhan yang berkayu. Penggunaan api dalam pengelolaan sumber daya alam setara dengan pertanian organik dalam hal peningkatan keanekaragaman hayati. Keanekaragaman hayati (Weir, 2009).

Pembakaran limbah pertanian meskipun sangat praktis dan murah untuk dilakukan terutama dalam mengontrol serangan serangga, penyakit tanaman pengganggu serta meningkatkan nutrisi tanah, efeknya terhadap lingkungan sangat perlu menjadi perhatian. Pembakaran residu pertanian secara terbuka di lahan merupakan sumber utama polusi udara. Emisi yang dihasilkan oleh pembakaran ini berupa karbonmonoksida, karbondioksida, gas rumah kaca, partikulat serta polutan lainnya. Polusi tersebut menimbulkan masalah kesehatan seperti gangguan pernafasan yang disebabkan oleh partikulat yang ukurannya lebih kecil dari 2,5 μ m memasuki pulmonary alveoli. Disamping itu, pembakaran residu pertanian di lahan mengurangi jarak pandang yang pada akhirnya mengganggu keselamatan dalam berlalu lintas. Berdasarkan hal-hal di atas, pengelolaan asap serta keselamatan dalam melakukan pembakaran perlu mendapat perhatian khusus.

Perencanaan Pembakaran Limbah Pasca Panen

Rencana pembakaran (*burn plan*) dipakai untuk menentukan metode terbaik dan teraman untuk melakukan pembakaran limbah pasca panen. *Burn plan* secara umum yang dipakai di Amerika Serikat berisikan rekomendasi tertulis pelaksanaan pembakaran yang terdiri dari keadaan cuaca pada saat dilaksanakan kegiatan pembakaran, jumlah personil yang melaksanakan pembakaran beserta perincian tugasnya serta jenis jumlah dan penempatan alat dan mesin yang dipakai. *Burn plan* ini juga mempertimbangkan efek sosial dari kegiatan pembakaran misalnya masalah pengelolaan asap, masalah lalu lintas karena pengaruh asap, cara menghubungi masyarakat setempat dan dinas kebakaran, dan sebagainya. *Burn plan* di satu daerah dengan daerah lainnya tidaklah sama karena perencanaan kegiatan pembakaran akan memperhatikan kondisi dan kebutuhan spesifik dari masing-masing daerah. Secara detail informasi dari yang tercantum dalam *burn plan* adalah sebagai berikut (Bidwell *et al.*, 2003):

1. Informasi dasar yang memuat tentang pemilik lahan tempat dilakukannya pembakaran lahan.
2. Informasi vegetasi yang ada di lahan atau informasi tentang apa yang dibakar.
3. Arah ke kota terdekat/alamat. Ini diperlukan apabila situasi yang tidak diinginkan terjadi misalnya api yang tidak terkontrol, sehingga dinas kebakaran dapat dengan cepat menuju ke lokasi kebakaran.
4. Tujuan dilakukannya pembakaran di lahan
5. Daftar instansi/pihak yang telah diberitahukan tentang kegiatan pembakaran
6. Persiapan kegiatan pembakaran misalnya metode-metode untuk mematikan api dengan *firebreak*. *Firebreak* ini dapat berupa jalan, sungai atau kerikil untuk menghentikan penyebaran api yang tidak terkontrol.
7. Kondisi dari bahan bakar misalnya apakah jerami yang ada di lahan kering atau basah, distribusinya di lahan serta kuantitas jerami.
8. Keadaan cuaca serta pada kondisi cuaca yang bagaimana harusnya kegiatan pembakaran dilakukan. Misalnya saja kelembaban udara harus dalam kisaran 40-80%.
9. Pertimbangan pengelolaan asap. Pengelolaan asap dilakukan dengan mempertimbangkan arah angin, kecepatan angin dan kondisi dispersi, sehingga tidak menimbulkan gangguan pada navigasi lalu lintas ataupun tempat-tempat publik.

Pengelolaan Asap

Asap merupakan produk sampingan dari setiap proses pembakaran yang disebabkan karena percampuran antara oksigen dan bahan bakar yang tidak efisien. Proses pembakaran (*combustion*) terdiri dari empat tahap yang dimasing-masing tahapnya menghasilkan karakteristik asap yang berbeda. Keempat tahap tersebut adalah (Weir, 2009):

1. *Pre-ignition*: pada tahap ini, partikel-partikel bahan bakar dipanaskan, kandungan air yang terkandung dalam bahan bakar menguap ke atmosfer.
2. *Flaming*: pada tahap ini efisiensi proses pembakaran relatif tinggi sehingga emisi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan tahap lainnya.
3. *Smoldering*: efisiensi proses pembakaran pada tahap ini relatif rendah sehingga emisi partikulat yang dihasilkan cukup tinggi. Bahkan, emisi yang dihasilkan pada tahap ini dua kali lipat dari tahap *flaming*.
4. *Glowing stage*: karakter dari tahap ini adalah asap yang dihasilkan relatif sedikit karena hampir semua materi volatile sudah habis dan oksigen dengan mudah mencapai partikel-partikel bahan bakar sehingga efisiensi pada tahap ini cukup tinggi.

Asap dihasilkan di setiap tahap pada proses pembakaran, namun asap dengan jumlah terbesar dihasilkan pada tahap *smoldering*. Dalam rangka mengurangi masalah-masalah yang timbul akibat asap pembakaran, kegiatan pembakaran limbah pertanian seharusnya dilakukan pada saat kondisi cuaca yang menghasilkan dispersi terbaik. Dispersi asap terbaik biasanya terjadi di pagi hari setelah lapisan inversi hilang. Lapisan inversi ini merupakan lapisan udara yang stabil dimana suhu udara meningkat seiring dengan tinggi kolom udara. Kegiatan pembakaran juga seharusnya dilakukan jika syarat-syarat parameter cuaca baik minimal dan maksimalnya terpenuhi, misalnya tingkat kecepatan angin, arah mata angin, tinggi percampuran, *category day* dan indeks dispersi. Beberapa model dispersi cuaca yang telah dikembangkan untuk pengelolaan asap. Salah satunya adalah *OK-Fire*. *OK-fire* (Gambar 1) memberikan informasi cuaca untuk *stake holder* yang akan melakukan kegiatan pembakaran limbah pertanian di lahan, bahaya api (*fire danger*) dan dispersi asap. *OK-fire* memanfaatkan Oklahoma Mesonet (jaringan stasiun monitoring lingkungan) dan Model NAM (North American Model). Model NAM dapat memperkirakan cuaca 84 jam kedepan. Pada *OK-fire* juga terdapat model dispersi yang mengklasifikasikan atmosfer menjadi enam kategori dispersi, yaitu (Bidwell *et al.*, 2003):

1. Sangat buruk atau *very poor* (VP)
2. Buruk atau *poor* (P)

3. Agak buruk atau *moderately poor* (MP)
4. Agak baik atau *moderately good* (MG)
5. Baik atau *good* (G)
6. Sangat baik atau *excellent* (E)

Pada Gambar 2 terlihat peta keadaan dispersi Oklahoma. Dispersi kategori 4 sampai 6 memiliki gradasi berwarna hijau, kategori 3 berwarna krem, kategori 2 berwarna oranye dan kategori 1 berwarna merah. Kategori 1 dan 2 umumnya memiliki kondisi lapisan inversi yang menghalangi terjadinya pencampuran udara. Pada kategori ini, asap cenderung menggantung di atmosfer. Kategori 5 dan 6 umumnya terjadi pada saat kondisi atmosfer yang tidak stabil, yang menyebabkan dispersi udara horisontal maupun vertikal terjadi sangat baik.

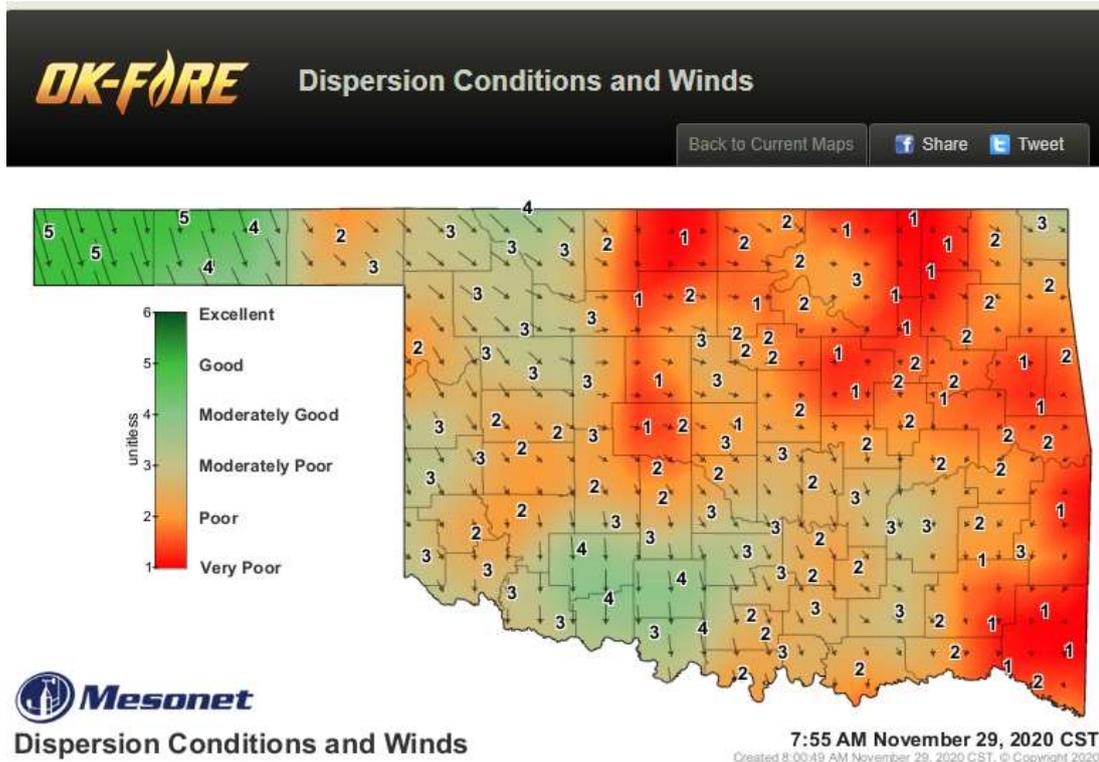
Penentuan hari terbaik untuk melakukan kegiatan pembakaran biasanya diperoleh dari tren cuaca di suatu daerah. Misalnya di Stillwater, sebuah kota kecil di negara bagian Oklahoma, keadaan cuaca terbaik untuk melaksanakan kegiatan pembakaran adalah pada saat suhu udara berada pada kisaran 2° sampai 43° Celcius, kelembaban relatif antara 25% sampai 80%, kecepatan angin antara 6 km/jam sampai 24 km/jam serta tidak adanya presipitasi yang tercatat oleh penakar hujan.

The screenshot shows the Mesonet OK-FIRE Fire Prescription Planner interface. The main content area contains a table for setting weather parameters:

Variable	Lower Limit	Upper Limit
Air Temperature (F)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Relative Humidity (%)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Wind Speed (mph)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1-hr Precipitation (inches)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Heat Index [heat stress] (F)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Dispersion Conditions	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1-hr Dead Fuel Moisture (%)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

To the right of the table is a wind direction compass with 16 sectors labeled with cardinal and ordinal directions (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW, NNW, NNE, WNW, WSW, SSW, SSE, WNW, WSW, SSW, SSE). Below the compass is the text: "Wind Direction" and "** Click on the sectors you wish to prescribe **".

Gambar 1. Penentuan batas-batas parameter cuaca untuk kegiatan pembakaran limbah pasca panen dengan menggunakan *OK-FIRE* (https://www.mesonet.org/index.php/okfire/fire_rx)



Gambar 2. Contoh perkiraan kondisi dispersi dari model dispersi.

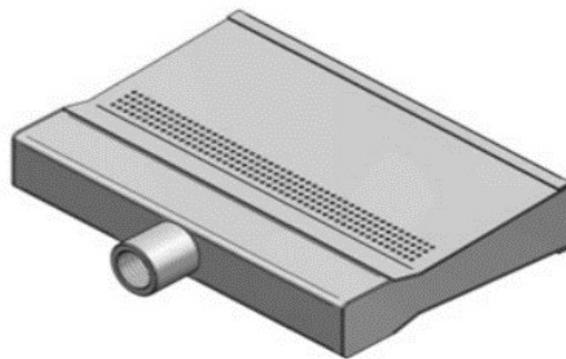
Mesin Pembakar Limbah Pasca Panen

Penggunaan mesin untuk membakar limbah pasca panen bukanlah hal yang baru dilakukan. Penggunaan mesin untuk kegiatan ini sudah digunakan sejak tahun 1926 untuk mengontrol serangan serangga dan tanaman pengganggu (Hardison, 1976). Metode ini dipilih karena pembakaran yang dilakukan secara konvensional di lahan banyak mendapatkan tentangan dari masyarakat sekitar akibat asap yang mengganggu. Aplikasi mesin ini juga digunakan karena sedikitnya jerami yang kering pada daerah-daerah yang beriklim basah.

Salah satu faktor penentu kinerja dari mesin pembakar limbah pasca panen adalah alat pembakar yang digunakan (*burner*). Berdasarkan bentuknya alat pembakar dapat dibagi menjadi dua yaitu alat pembakar yang berbentuk kotak dan alat pembakar yang berbentuk bulat. Alat pembakar yang berbentuk kotak menghasilkan api yang melebar, sedangkan alat pembakar yang berbentuk bulat menghasilkan api yang memanjang dan menyempit.

Berdasarkan apakah alat tersebut mempunyai ruang uap (*vapor chamber*) atau tidak, maka alat pembakar dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu alat pembakar dengan bahan bakar yang berbentuk cair dan alat pembakar yang berbentuk gas. Penggunaan LPG (*liquefied propane gas*) sebagai bahan bakar untuk pembakaran limbah pasca panen sekarang ini

mendapatkan perhatian yang cukup besar karena LPG merupakan bahan bakar yang tidak beracun serta tidak meninggalkan residu kimia pada tanah, udara dan air (Knezevic *et al.*, 2014). Emisi karbon dan emisi oksida nitrogen (NO_x) yang dihasilkan oleh LPG lebih rendah daripada bahan bakar lainnya. Alat pembakar dengan menggunakan bahan bakar LPG dikembangkan di Italia (Gambar 3) dengan bentuk kotak piramida sehingga lebar api dapat terkontrol. Suhu alat pembakar yang dihasilkan dapat mencapai 1200°C pada tekanan operasi 200 kPa (Raffaelli *et al.*, 2015).

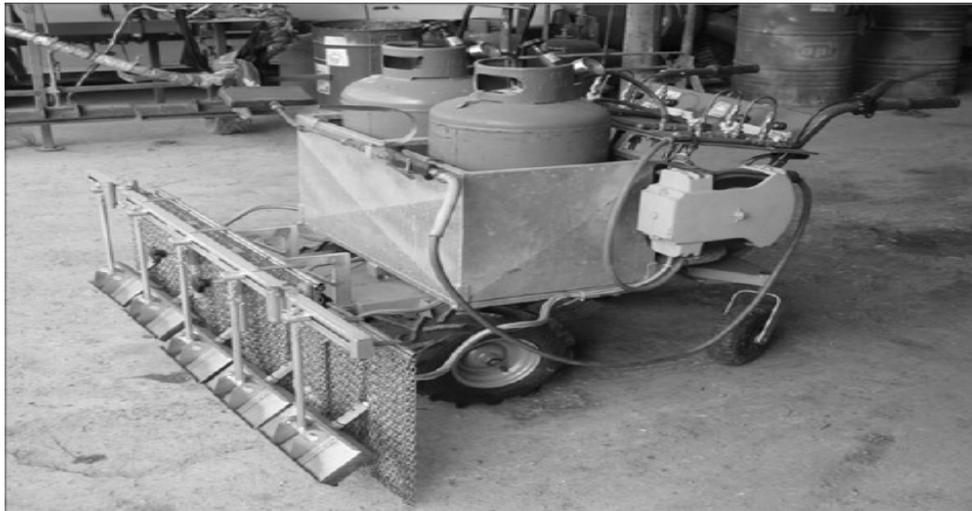


Gambar 3. Alat pembakar dan pembasmi gulma yang dikembangkan di Italia (Raffaelli *et al.*, 2015)

Alat pembakar yang mempunyai pelindung atas (*cover/hood*) pada umumnya menggunakan energi 40-50% lebih efisien dibandingkan dengan alat pembakar yang tidak menggunakan pelindung atas. Disamping itu, alat pembakar dengan cover lebih toleran terhadap variasi perbedaan sudut dan tinggi penempatan dari tanah. Pelindung atas dari segi keselamatan kerja, juga dapat menjaga apa tetap dibawah dan menjaga agar api tidak terlalu banyak terpengaruh oleh angin.

Tinggi dan sudut penempatan dari alat pembakar mempengaruhi bagaimana api dapat mencapai residu pertanian. Tinggi dan sudut penempatan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis alat pembakar, tekanan, panjang api, keadaan permukaan tanah, tinggi tumpukan jerami, kecepatan mesin dan angin. Penelitian yang dilakukan di Italy (Gambar 4) menemukan bahwa sudut dengan kisaran 30° sampai 45° dan dengan tinggi alat pembakar 7 cm dari tanah memberikan hasil terbaik dalam pembakaran dan pemberantasan tanaman pengganggu (Raffaelli *et al.*, 2013). Percobaan di laboratorium dan di lapangan terkait dengan sudut penempatan dari alat pembakar terhadap tanah memberikan hasil yang berbeda. Hasil sudut terbaik untuk membasmi tanaman pengganggu dan membakar residu pasca panen berdasarkan

penelitian yang dilakukan di lapangan adalah 67° sedangkan penelitian yang dilakukan di laboratorium menghasilkan sudut 45° (Ascard, 1998). Penelitian yang dilakukan di Oklahoma State University, dimana alat pembakar diletakkan dengan tinggi 5 cm diatas tanah dengan sudut alat pembakar terhadap tanah 67° , alat pembakar ini digerakkan motor dengan kecepatan 3,5 km/jam menghasilkan jerami yang terbakar terluas dan dengan luasan terbakar yang seragam dibandingkan sudut-sudut lainnya.



Gambar 4. Mesin Pembakar Limbah Pasca Panen dan Pembasmi Gulma (Raffaelli *et al.*, 2013)

Tekanan operasi pada mesin pembakar dapat meningkatkan penetrasi api terutama pada tumpukan jerami yang padat. Peningkatan tekanan operasi juga dapat menurunkan efisiensi. Proses pembakaran di bawah optimal akan menghasilkan api yang berwarna kuning-oranye. Hal ini bisanya terjadi pada pada tekanan kurang dari 250 kPa. Suhu maksimum api tidak berubah seiring meningkatnya tekanan operasi meskipun pada beberapa kasus tekanan operasi yang lebih tinggi menghasilkan api yang area suhu tingginya lebih lebar dan panjang. Tekanan operasi untuk alat pembakar yang berbentuk kotak biasanya berkisar antara 200 kPa sampai dengan 400 kPa (Peruzzi *et al.*, 2007; Raffaelli *et al.*, 2015).

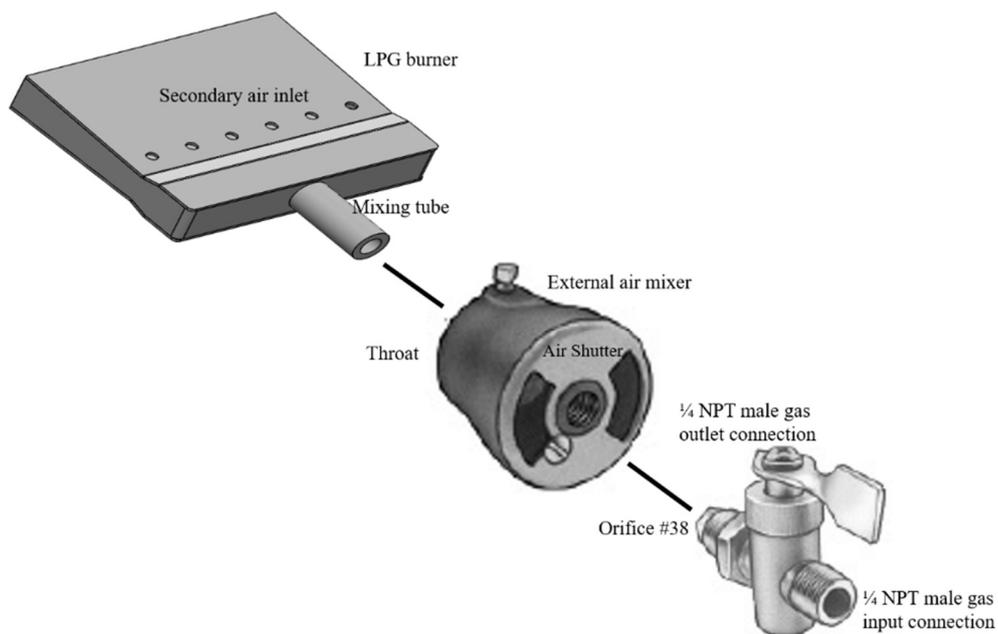
Desain Alat Pembakar Limbah Pasca Panen

Alat pembakar yang dirancang di Oklahoma State University merupakan modifikasi dari rancangan alat pembakar yang dikembangkan di Italia (Raffaelli *et al.*, 2015). Jenis alat pembakar ini dipilih karena menghasilkan suhu yang relatif tinggi dan api yang terkontrol. Spesifikasi alat pembakar dan perbandingannya dengan alat pembakar yang dikembangkan di

Italia dapat dilihat pada Tabel 2. Alat pembakar serta mixer yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 2. Karakteristik alat pembakar yang dikembangkan

Karakteristik (mm)	Alat Pembakar (Raffaelli <i>et al.</i> , 2015)	Alat Pembakar yang dikembangkan
Lebar	160	158,75
Panjang	131	130,6
Tinggi Difuser	25	25,4
Lebar Difuser	158	154,94
Jumlah port api	5	6
Diameter port api	2	4,8
Jumlah inlet udara sekunder	98	6
Diameter inlet udara sekunder	1,4	6,35



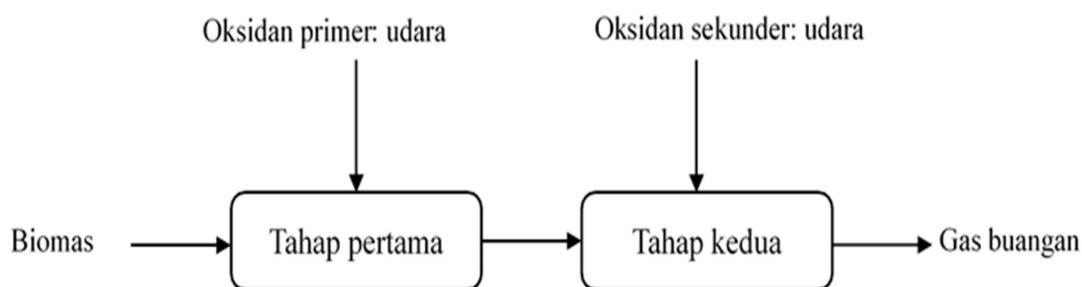
Gambar 5. Alat pembakar limbah pasca panen berserta mixer yang digunakan.

Dengan menggunakan tekanan operasi 138 kPa alat pembakar ini menghasilkan suhu pembakaran sekitar 800-1000°C. Suhu tersebut diukur dengan termokopel jenis K pada jarak 10 cm dari ujung alat pembakar.

Pengendalian Polusi Udara

Pembakaran biomas merupakan proses kompleks yang terdiri dari reaksi heterogen dan homogen yang terjadi secara beberurutan. Tahap-tahap utama dalam proses pembakaran adalah pengeringan (*drying*), devolatisasi, gasifikasi, pembakaran arang (*char combustion*) dan oksidasi fase gas (*gas-phase oxidation*). Pembakaran ini menghasilkan emisi yang tinggi akan oksida nitrogen (NO_x , yang merupakan istilah jamak dari NO dan NO_2) dan bahan partikulat (B. Jenkins *et al.*, 1998; Nussbaumer, 2003). NO_x banyak dihasilkan pada saat suhu pembakaran di atas 1300°C (Werther *et al.*, 2000). Suhu pembakaran antara 800° sampai 900° menghasilkan jumlah NO_x yang lebih rendah. Untuk pembakaran limbah pasca panen suhu pembakaran yang direkomendasikan dibawah 1000°C sehingga emisi oksida nitrogen hanya berasal dari biomass, tidak berasal dari konversi nitrogen di udara.

Metode pengendalian emisi nitrogen karena konversi nitrogen dalam pembakaran biomass adalah *fuel staging/reburn* (pemberian bahan bakar secara bertahap) dan *air staging* (pemberian udara secara bertahap). Metode *fuel staging* terdiri dari dua tahap. Tahap pertama merupakan lean combustion (perbandingan ratio udara dan bahan bakar yang tinggi), dimana pada tahap ini dihasilkan NO yang tinggi. Tahap kedua adalah *fuel-rich condition*, dimana bahan bakar disuplai lagi sehingga mengurangi jumlah NO . Metode *air staging* (Gambar 6) mempunyai mekanisme yang berbeda dengan *fuel staging*. Tujuan dari pemberian udara secara bertahap pada metode ini adalah memberikan jumlah udara yang lebih rendah dari rasio stokiometri (Houshfar *et al.*, 2012).



Gambar 6. Prinsip kerja metode air staging dalam mengendalikan emisi NO_x .

Selain dua metode tersebut diatas, metode *Flue Gas Recirculation* (FGR) sangat umum dilakukan untuk mengendalikan emisi NO_x . FGR mengendalikan emisi NO_x dengan cara mensirkulasikan gas buangan dari hasil pembakaran untuk dijadikan suplai udara pembakaran. Pensirkulasian ini dapat mengurangi suhu pembakaran dan menurunkan kandungan oksigen sehingga pada akhirnya dapat mengontrol pembentukan NO_x .

Sejumlah penelitian tentang emisi bahan partikulat akibat pembakaran limbah pasca panen menunjukkan konsentrasi bahan partikulat yang ukurannya antara 2,5 saat pembakaran jerami padi di China adalah $266 \mu\text{g m}^{-3}$. Sedangkan di Taiwan, pada saat pembakaran jerami padi, konsentrasi partikulat dengan ukuran kurang dari 2,5 mikron adalah $123,6 \mu\text{g m}^{-3}$. Konsentrasi partikulat di udara pada saat tidak adanya kegiatan pembakaran adalah $32,6 \mu\text{g m}^{-3}$. Untuk partikulat yang berukuran lebih besar dari pada 2,5 mikron, emisi yang dihasilkan adalah $31.5 \mu\text{g m}^{-3}$, yang konsentrasi jauh lebih tinggi jika dibandingkan emisi partikulat pada saat tidak adanya kegiatan pembakaran limbah pasca panen yaitu sekitar $21,4 \mu\text{g m}^{-3}$ (Cheng *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2008). Konsentrasi partikulat yang ukurannya kurang dari 2,5 mikron pada saat kegiatan pembakaran jauh melebihi standar yang diatur oleh Agen perlindungan lingkungan Amerika yaitu $35 \mu\text{g m}^{-3}$. Faktor emisi untuk pembakaran limbah pasca-panen dari gandum dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor emisi kegiatan pembakaran limbah pasca panen gandum dalam g/kg.

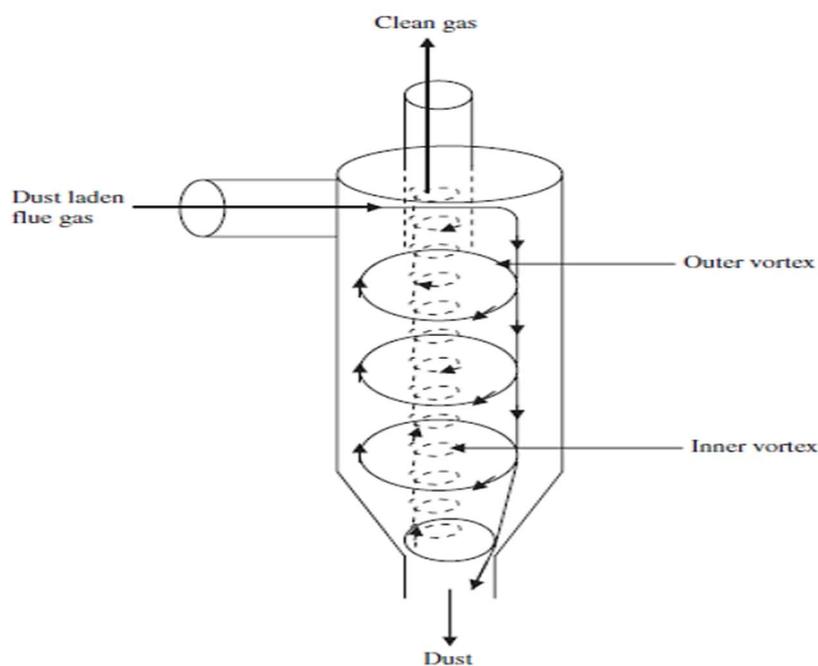
References	Pollutant					
	PM	PM _{2.5}	PM ₁₀	CO	NO _x	SO ₂
(B. M. Jenkins <i>et al.</i> , 1996)		5,05	5,3	61,8	2,15	0,45
(Dennis <i>et al.</i> , 2002)	4.8	4,55	4,7	38,2	2,9	
(Gaffney, 2000)		5,05	5,3	51,8	2,15	0,45
(Hays <i>et al.</i> , 2005)		4,7±0,04				
(Dhammapala <i>et al.</i> , 2006)		3±0,6		52,9±8,0		

Beberapa teknologi yang sudah dikembangkan untuk mengurangi emisi partikulat. Siklon salah satunya yang paling banyak digunakan dengan memisahkan emisi fase padat dan cair (Gambar 7). Alat ini menggunakan gaya sentrifugal pada campuran gas dan partikel yang menyebabkan pemisahan partikel dari aliran gas emisi. Gaya tersebut menyebabkan partikel yang lebih besar akan terbawa ke bawah sedangkan partikel yang lebih kecil akan terbawa ke aliran gas (Shanthakumar *et al.*, 2008; Shin *et al.*, 2005). Banyak industri memakai siklon ini karena keuntungannya seperti strukturnya yang sederhana, relatif murah dan ketahanannya dalam tekanan dan suhu tinggi. Namun, siklon juga mempunyai keterbatasan yaitu rendahnya efisiensi pengumpulan partikel yang berukuran sangat kecil, masih banyak teknologi yang dipakai dalam mengendalikan emisi partikulat seperti presipitator elektrostatik, *wet scrubber* dan filtrasi menggunakan filter (*fabric filtration*). Pemilihan pada masing-masing teknologi untuk mengurangi produksi emisi partikulat sangat bergantung kepada jenis dan ukuran emisi

yang dihasilkan, tekanan operasi dari suatu sistem, suhu pembakaran dan pertimbangan daya serta ekonomi.

Aspek Ekonomi Pembakaran Limbah Pasca Panen

Biaya untuk melakukan kegiatan pembakaran biomass secara konvensional di Amerika Serikat relatif murah yang berkisar antara US\$10 sampai dengan US\$15 per acre, dimana 1 acre kira-kira sama dengan 0,4 hektar. Namun, untuk melakukan kegiatan pembakaran tersebut, harus dilakukan oleh lembaga/perkumpulan yang tersertifikasi. Biaya kontrak minimum untuk menyewa lembaga ini berkisar antara US\$300 sampai US\$350. Harga tersebut tidak termasuk penyewaan alat/mesin untuk menunjang kegiatan pembakaran limbah pasca panen. Untuk pembakaran limbah pasca panen skala kecil yaitu pada lahan kurang dari 30 acre, akan sangat merugikan, sehingga penggunaan mesin pembakar sangat diperlukan. Pertimbangan aspek ekonomi dalam penerapan mesin pembakar pada kegiatan pembakaran limbah pasca panen skala kecil sangat penting untuk pengambilan keputusan apakah secara ekonomi menguntungkan memiliki serta mengoperasikan mesin ini. Evaluasi yang meneliti tentang biaya mesin pada keseluruhan proses produksi merupakan hal yang sangat krusial dilakukan. Terutama ketika ada beberapa alternatif untuk melakukan satu kegiatan dalam rangka meningkatkan efisiensi.



Gambar 7. Siklon Separator/Pemisah (Shanthakumar *et al.*, 2008)

Metode penentuan biaya operasi mesin pembakar limbah pasca panen dapat dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya tidak tetap (*variable cost*) (Field dan Long, 2018). Biaya tetap terdiri dari depresiasi, bunga, pajak, asuransi serta biaya perawatan infrastruktur. Biaya tetap dapat ditentukan dengan dua metode. Metode yang pertama adalah dengan mengkombinasikan faktor nilai dari sisa umur mesin, umur mesin, bunga serta pajak dan asuransi. Metode kedua dengan menggunakan perhitungan faktor pemulihan modal (ASAE, 1999). Pada umumnya dengan menggunakan faktor pemulihan modal, biaya tetap akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan metode yang pertama. Hal ini disebabkan adanya sejumlah dana yang disisihkan setiap tahunnya untuk membayar nilai depresiasi dan biaya bunga. Biaya tidak tetap berhubungan dengan operasi dari mesin dan hanya terjadi pada saat mesin digunakan. Semua perhitungan untuk operasi mesin pembakar limbah terdapat pada ASAE standard EP496.2.

Untuk pembakaran limbah pasca panen secara konvensional di lahan, biaya terbesar terletak pada persiapan pemecah api (*firebreak*). Firebreak merupakan usaha/cara yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kebakaran karena perambatan api yang tidak terkendali. Pembuatan *firebreak* dengan area kosong (tanah yang dibersihkan dari bahan-bahan yang mudah terbakar) dengan lebar 5 meter dan yang mengelilingi 20 acre menghabiskan biaya sebesar US\$236 (NRCS, 2014). Namun untuk pembakaran limbah pasca panen pada daerah yang relatif kecil, biaya pembuatan *firebreak* dianggap nol. Hal ini disebabkan pembuatan *firebreak* akan mengambil persentase lahan produktif yang cukup luas untuk lahan yang relatif kecil. Pengendalian api dapat dilakukan dengan menambah personil untuk memantau perambatan api atau dengan teknik pembakaran api yang melawan arah angin (*backing fire*) pada perimeter lahan yang akan dibakar.

Penentuan biaya pengoperasian mesin pembakar dapat dilakukan secara sistematis dengan membangun dan membuat aplikasi pada Windows®. Aplikasi ini dibangun di Oklahoma State University dengan memanfaatkan Microsoft Visual Studio®2017. Pada aplikasi ini terdapat dua bagian, yaitu penentuan biaya tetap (Gambar 8) dan biaya tidak tetap (Gambar 9). Masing-masing bagian terdapat dua kolom, dimana kolom pertama adalah untuk memasukkan data, sedangkan kolom yang kedua merupakan hasil perhitungan data. Dengan menggunakan aplikasi ini total dari biaya tetap adalah US\$402 per tahun, biaya tidak tetap adalah US\$2895, Sehingga biaya total pengoperasian mesin pembakar adalah US\$ 3297 per tahun atau US\$165 per tahun per acre. Penentuan biaya pengoperasian mesin pembakar ini

didasarkan atas asumsi lebar kerja mesin adalah 1,5 meter, efisiensi lapang mesin 60%, kecepatan operasi mesin 3 km/h dan luas lahan yang dibakar 20 acre.

Burning Machine Cost Estimation

Fixed Cost | Variable Cost

Purchase price for new machine (\$) Tax, Housing, Insurance (\$)

Discount factor for new machine List Price (\$)

Economic Life (Year) [Choose Year] Salvage Value (\$)

Remaining Value Factor (%) Salvage Value Factor

Inflator (%) Annual Depreciation (\$/Year)

Loan (Year) Total Depreciation (\$)

Interest Rate (%) Capital Recovery

Number of times compounding will occur Ownership Cost Percentages

Annual Ownership Cost 1 (\$/Year)

Annual Ownership Cost 2 (\$/Year)

CALCULATE **CLEAR**

Gambar 8. Aplikasi Windows untuk menentukan biaya tetap pengoperasian mesin pembakar limbah pasca panen

Burning Machine Cost Estimation

Fixed Cost | **Variable Cost**

Machine Width (ft) Effective Capacity (Acre/hr)

Machine Speed (mph) Annual Use (hr)

Field Efficiency (%) Adjusted Price (\$) for Inflation

Age of Machine (Year) Total Tractor Rent (\$/Year)

Repair Factor 1 Accumulated Repair (\$/Year) and Maintenance

Repair Factor 2 Fuel 1 Cost (\$/Year)

Tractor Rent (\$/hr) [Choose] Fuel 2 Cost (\$/Year)

Tractor Rent Cost (\$/hr) Total Fuel Cost (\$/Year)

Tractor Rated Power (Pto) Total Labor Cost (\$/Year)

Total Area (Acre) Total Mechanical Site (\$/Year) Preparation

Purchase Price (\$) Annual Variable Cost (\$/Year)

Inflation (%) Total cost 1 (\$/Year)

Fuel 1 Consumption (Gal/hr) [Choose] Total cost 2 (\$/Year)

Fuel 1 Price (\$/gallon)

Fuel 2 Consumption (Gal/hr)

Fuel Price 2 (\$/gallon)

Labor Cost (\$/hr)

Mechanical Site (\$/Acre) Preparation

CALCULATE **CLEAR**

Gambar 9. Aplikasi Windows untuk penentuan biaya tetap dan biaya total pengoperasian mesin pembakar limbah pasca panen.

Berdasarkan data lembaga kehutanan nasional, departemen pertanian Amerika Serikat dari tahun 1985 sampai 1994, biaya rata-rata pembakaran biomass secara konvensional adalah sekitar \$102 dengan luasan yang dibakar 54 hektar. Biaya tersebut sudah termasuk persiapan lahan, pembakaran, perawatan dan monitoring setelah pembakaran dan biaya kontrak.(Cleaves *et al.*, 1999). Besarnya lahan yang dibakar merupakan faktor yang krusial dalam penentuan biaya kegiatan pembakaran karena makin luasnya lahan yang dibakar, biaya yang diperlukan makin rendah. Dengan memperhitungkan inflasi dan index harga konsumen di tahun 2019, maka biaya untuk melakukan kegiatan pembakaran biomas adalah US\$176.

Kesimpulan

Pembakaran limbah pasca-panen akan tetap menjadi 49ublic49tive pengelolaan limbah/residu pasca panen. Hal ini didasarkan pada pertimbangan kondisi iklim yang tidak mendukung terjadinya dekomposisi/pelapukan limbah pasca panen, serta adanya ancaman-ancaman kebakaran yang tidak terkontrol karena banyaknya tumpukan residu. Sehingga untuk mengurangi tumpukan residu tersebut perlu dilakukan pembakaran. Pembakaran limbah pasca panen dapat membantu mengendalikan gulma dan hama penyakit yang disebabkan oleh jamur dan cendawan pada tanaman gandum dan padi. Meskipun mempunyai kelebihan dalam mengendalikan hama dan gulma, pembakaran limbah pasca panen menyebabkan polusi udara karena menghasilkan emisi karbonmonoksida, gas rumah kaca, Nox dan partikulat. Kegiatan ini juga menghasilkan asap yang dapat mengganggu navigasi lalu lintas dan tempat-tempat 49ublic.

Dalam rangka untuk melakukan kegiatan pembakaran limbah pasca-panen diperlukan perencanaan yang sistematis seperti kondisi cuaca yang mendukung. Kondisi cuaca yang mendukung dalam hal ini adalah kondisi dispersi udara yang baik, kecepatan dan arah angin dan lain sebagainya. Selain itu diperlukan perencanaan pelaksanaan kegiatan pembakaran yang baik, seperti misalnya alat yang digunakan, cara melakukan pembakaran, personil yang melakukan pembakaran dan lain sebagainya. Selain kondisi cuaca, desain alat pembakar menjamin terjadinya pembakaran dengan efisiensi yang relatif tinggi.

Pertimbangan aspek ekonomi dalam penerapan mesin pembakar pada kegiatan pembakaran limbah pasca panen skala kecil sangat penting untuk pengambilan keputusan apakah secara ekonomi menguntungkan memiliki serta mengoperasikan mesin ini. Terutama ketika ada beberapa alternatif untuk melakukan satu kegiatan dalam rangka meningkatkan efisiensi.

Daftar pustaka

- ASAE. 1999. American Society of Agricultural Engineers (ASAE EP496.2 DEC99). Ascard, J. 1998. Flame weeding -effects of burner angle on weed control and temperature patterns. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 48, 248–254.
- Bidwell T.G., Weir J.R., Carlson J.D., Masters R.E., Fuhlendorf S.D., Waymire J., & Conrady S. 2003. Using Prescribed Fire in Oklahoma. Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheets, E-927.
- Cheng M.T., Horng C.L., Su Y.R., Lin L.K., Lin Y.C., & Chou C.C.K. 2009. Particulate matter characteristics during agricultural waste burning in Taichung City, Taiwan. *Journal of Hazardous Materials*, 165(1–3), 187–192.
- Cleaves D.A., Martinez J., & Haines T.K. 1999. Influences on Prescribed Burning Activity and Costs in the National Forest System. *Proc. of the Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Bottom Lines*, 277–287.
- Dennis A., Fraser M., Anderson S., & Allen, D. 2002. Air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas. *Atmospheric Environment*, 36(23), 3779–3792.
- Dhammapala R., Claiborn C., Corkill J., & Gullett, B. 2006. Particulate emissions from wheat and Kentucky bluegrass stubble burning in eastern Washington and northern Idaho. *Atmospheric Environment*, 40(6), 1007–1015.
- Field H.L., & Long J.M. 2018. *Introduction to Agricultural Engineering Technology* (Fourth Edi). Springer International Publishing.
- Gaffney P. (2000). Agricultural burning emission factors.
- Hardison J.R. 1976. Fire and flame for plant disease control. *Annual Review of Phytopathology*, 14(1), 355–379.
- Hays M.D., Fine, P.M., Geron C.D., Kleeman M.J., & Gullett, B.K. 2005. Open burning of agricultural biomass: Physical and chemical properties of particle-phase emissions. *Atmospheric Environment*, 39(36), 6747–6764.
- Houshfar E., Skreiberg Ø., Todorović D., Skreiberg A., Løvås T., Jovović A., & Sørum L. 2012. NO_x emission reduction by staged combustion in grate combustion of biomass fuels and fuel mixtures. *Fuel*, 98(x), 29–40.
- Jenkins B., Baxter L., & Miles, T. 1998. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 54(1–3), 17–46.
- Jenkins B.M., Turn S.Q., Williams R.B., Goronea M., & Abd-el-Fattah H. 1996. Atmospheric

- pollutant emission factors from open burning of agricultural and forest biomass by wind tunnel simulations. Volume 1. Final report (No. PB--97-133037/XAB).
- Knezevic S.Z., Datta A., Bruening C., & Gogos G. 2014. Propane-fueled flame weeding in corn, soybean, and sunflower. Propane Education and Research Council. <https://lpg-apps.org/uploads/Modules/Library/propanefueledflameweeding.pdf>
- Makarim K.A., Sumarmo, & Suyantu. 2007. Jerami Padi: Pengelolaan dan Pemanfaatan (Hermanto & Sunihardi (eds.). Pusat Penelitian dan Pengembangan Pangan, Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Morris N.L., Miller P.C.H., Orson J.H., & Froud-Williams R.J. 2009. The effect of wheat straw residue on the emergence and early growth of sugar beet (*Beta vulgaris*) and oilseed rape (*Brassica napus*). *European Journal of Agronomy*.
- NRCS. (2014). Scenario Cost: Firebreak Scenaria.
- Nussbaume T. 2003. Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. *Energy and Fuels*, 17(6), 1510–1521.
- Peruzzi A., Ginanni M., Fontanelli M., Raffaelli M., & Bärberi, P. 2007. Innovative strategies for on-farm weed management in organic carrot. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22(04), 246–259.
- Raffaelli M., Frasconi C., Fontanelli M., Martelloni L., & Peruzzi, A. 2015. LPG burners for weed control. *Applied Engineering in Agriculture*, 31(5), 717–731.
- Raffaelli M., Martelloni L., Frasconi C., Fontanelli M., & Peruzzi A. 2013. Development of machines for flaming weed control on hard surfaces. *Applied Engineering in Agriculture*, 29(5), 663–673.
- Shanthakumar S., Singh D.N., & Phadke R.C. 2008. Flue gas conditioning for reducing suspended particulate matter from thermal power stations. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 685–695.
- Shin M.S., Kim H.S., Jang D.S., Chung J. Do, & Bohnet M. 2005. A numerical and experimental study on a high efficiency cyclone dust separator for high temperature and pressurized environments. *Applied Thermal Engineering*, 25(11–12), 1821–1835.
- Song J., Yang W., Yabar H., & Higano Y. 2013. Quantitative Estimation of Biomass Energy and Evaluation of Biomass Utilization - A Case Study of Jilin Province, China. *Journal of Sustainable Development*, 6(6).
- Webster R., Bolstad J., Wick C., & Hall D. 1976. Vertical distribution and survival of

sclerotium oryzae.pdf. *Phytopathology*, 66(1), 97–101.

Weir J.R. 2009. *Conducting prescribed fires: a comprehensive manual*. Texas A & M University Press.

Werther J., Saenger M., Hartge E.U., Ogada T., & Siagi Z. 2000. 00/02785 Combustion of agricultural residues. *Fuel and Energy Abstracts*, 41(5), 308.

Yang S., He H., Lu S., Chen D., & Zhu J. 2008. Quantification of crop residue burning in the field and its influence on ambient air quality in Suqian, China. *Atmospheric Environment*, 42(9), 1961–1969.

Chapter 4

KARAKTERISTIK WORTEL (*DAUCUS CAROTA* L.) HASIL APLIKASI BAKTERI PEMICU PERTUMBUHAN SALAH SATU LANGKAH MENUJU BUDIDAYA RAMAH LINGKUNGAN

**I Gusti Ayu Lani Triani, Soemarno , Bambang Tri Rahardjo, Elok
Zubaidah**

KARAKTERISTIK WORTEL (*DAUCUS CAROTA L.*) HASIL APLIKASI BAKTERI PEMICU PERTUMBUHAN SALAH SATU LANGKAH MENUJU BUDIDAYA RAMAH LINGKUNGAN

I Gusti Ayu Lani Triani¹, Soemarno², Bambang Tri Rahardjo³, Elok Zubaidah⁴

¹PS. Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Udayana, Badung, Bali

²Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian

³Jurusan Hama dan Penyakit Tanaman, Fakultas Pertanian

⁴Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur

Email : lanitriani@yahoo.com

Pendahuluan

Produksi hortikultura merupakan usaha yang mampu meningkatkan produksinya sehingga sangat baik untuk dikembangkan lebih jauh. Bali selain merupakan daerah tempat wisata dan budaya, juga memiliki sentra penanaman hortikultura terbesar, yaitu di Kabupaten Tabanan. Kabupaten Tabanan memiliki 6 kecamatan, Kecamatan Baturiti merupakan daerah tempat penghasil hortikultura terbesar, salah satunya yaitu wortel, dengan luas panen 204 Ha dan produksi 24.291 Ku (Distan, 2019). Selama penanaman wortel, petani memiliki kendala terbesar dalam budidaya sayuran tersebut yaitu masalah hama dan penyakit. Dalam rangka untuk memberantas hama dan penyakit yang mudah, ampuh dan cepat dikalangan petani sayuran dengan menggunakan pestisida dari golongan organofosfat yang banyak digunakan saat ini.

Petani terkadang berada dalam situasi di mana mereka menghadapi kerugian parah akibat penyakit, hama dan rumput liar, jika mereka tidak melakukan perlindungan terhadap tanaman, maka mereka mengalami kerugian. Pestisida selalu menjadi alat penting dan mudah diperoleh dalam budidaya sayur dan buah. Pestisida tersedia yang terdaftar atau diizinkan, bersama dengan larutan non pestisida, dievaluasi untuk kesesuaian secara keseluruhan dalam hal penanggulangan hama terpadu, resistensi, residu, periode pematangan, kemanjuran, perdagangan, keselamatan manusia dan masalah lingkungan (HAL, 2014). Penelitian yang dilakukan Munarso *et al.* (2009) di Malang dan Cianjur ditemukan residu pestisida endosulfan sebesar 0,11 ppm pada wortel. Hasil penelitian ini cukup berada di atas batas baku mutu residu

(BMR) untuk sayuran sebesar 0,1 ppm (BSN., 2008). Hasil penelitian Setiyo *et al.* (2016), lahan pertanian di dataran tinggi Desa Bedugul, Kecamatan Baturiti, Bali yang dibudidayakan kentang mengandung residu insektisida kelompok profenofos sebanyak 0,02 – 0,043 ppm dan umbi kentang mengandung residu rata-rata 10 % dari kandungan residu insektisida di tanah.

Untuk mengatasi penggunaan bahan kimia dalam budidaya sayuran, diterapkan teknologi ramah lingkungan yang dikenal dengan pertanian organik. Bentuk prosesnya bervariasi tergantung pada keadaan lokal lahan pertanian (FAO, 2015). Petani telah lama menyadari pentingnya biologi tanah, mereka melihat peran rhizobia, mikoriza, organisme pengendali biologis, dan seluruh nutrisi tanah dalam menjaga kualitas tanah untuk produksi tanaman. *Rhizobacteria* tanaman adalah sekelompok bakteri yang mengkolonisasi akar tanaman, dan meningkatkan pertumbuhan tanaman serta mengurangi penyakit atau kerusakan akibat serangan serangga, yang dikenal dengan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) (McMillan, 2007). Penggunaan PGPR terus meningkat pada pertanian dan menawarkan cara yang menarik untuk mengganti pupuk kimia, pestisida, dan suplemen. Manfaat utama dari PGPR adalah untuk menghasilkan senyawa antibakteri yang efektif melawan patogen dan hama tanaman (Ashrafuzzaman *et al.*, 2009).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bakteri pemicu pertumbuhan yang terangkum dalam *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) selama budidaya serta karakteristik wortel (*Daucus carota* L.) yang dihasilkan. Hasil budidaya menggunakan aplikasi PGPR dibandingkan dengan hasil budidaya dari petani konvensional, untuk melihat sejauh mana perbedaannya, sebagai salah satu langkah penerapan teknologi ramah lingkungan dalam budidaya untuk menghasilkan produk yang aman dan berkualitas.

Metode

Penelitian dilakukan pada lahan Di Desa Mayungan, untuk hasil dari petani konvensional diperoleh dari lahan di Desa Pancasari, Bali. Analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Universitas Udayana. Waktu penelitian dari Bulan Februari sampai Juli 2019.

Bahan penelitian adalah tanah, wortel dari lahan di Desa Mayungan dan Desa Pancasari, pupuk kandang (kotoran ayam/sapi), *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dan endofit yang diperoleh dari Laboratorium Hama dan Penyakit, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Bahan laboratorium adalah aseton, petroleum eter, sodium sulfat, silica gel, aseton, heksana, etanol, iodine, natrium bikarbonat, amilum, standar beta karoten dan NaSO₄. Peralatan analisis yang dipergunakan adalah blender, gelas ukur (ukuran 100 ml dan

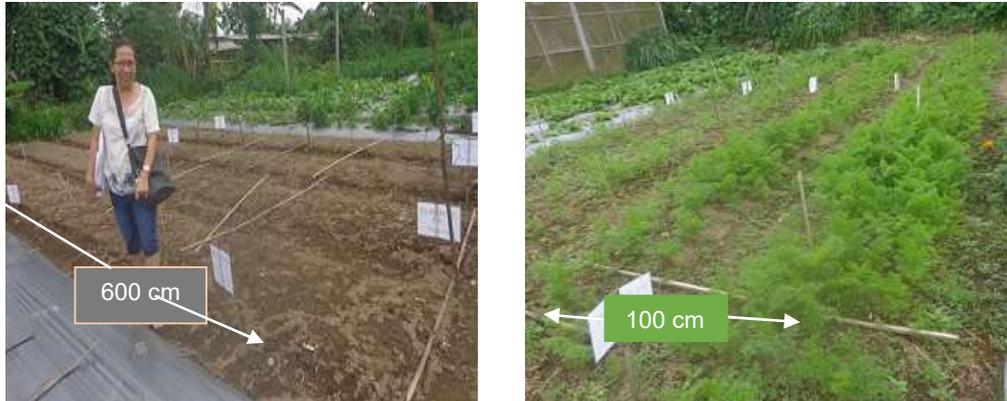
10 ml), pipet mikro, syringe (10 -l), timbangan (*Mettler Toledo*), *GC-MS* (Model 6890 N, serial number 62589 A (US44630702) MSD, oven pengering (*Shimidzu*), spektrofotometri (*Biochrom*), spektrofotometri (*thermo scientific*), timbangan analitik (*Shimadzu*), texture dan colour analyzer.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok faktorial dengan 2 faktor. Faktor pertama adalah lama perendaman benih dengan PGPR yaitu 0, 10, 20, dan 30 menit, sedangkan faktor kedua adalah penggunaan PGPR pada saat penyiraman pada tanaman di bedengan (umur tanaman 2 minggu) yaitu: 0; 1,25; 2,5 dan 3,75 cc/L. Perlakuan tersebut dikelompokkan menjadi 3 kelompok sehingga diperoleh 48 satuan percobaan. Untuk melihat perbedaan penggunaan PGPR dengan hasil budidaya secara konvensional, dilakukan analisis meliputi analisis tanah, jumlah panen serta analisis kimia dan fisik wortel hasil budidaya.

Pelaksanaan dimulai dari budidaya wortel meliputi persiapan tanah, perlakuan PGPR sesuai dengan rancangan percobaan, pemeliharaan tanaman dan pemungutan hasil panen (*Mishra et al.* (2010), dan *Heidari et al.* (2011)). Tanah sebelum dipergunakan untuk budidaya digemburkan dahulu, lalu diberikan pupuk kandang (kotoran ayam/sapi) dengan takaran pada umumnya, kemudian didiamkan ± 4 hari, sebelum dipergunakan untuk budidaya wortel.

Bedengan untuk budidaya sayuran ukuran 100 x 600 cm. Jarak antar bedengan berukuran 30 cm. Panjang bedengan menurut panjangnya petakan kebun. Benih diberikan perlakuan perendaman dengan PGPR sebelum ditanam, setelah direndam benih ditiriskan, lalu ditanam pada bedengan. Benih wortel sebanyak $\pm \frac{1}{2}$ gelas (ukuran 250 ml) atau ± 50 g direndam pada larutan PGPR. Larutan PGPR dibuat dengan mencampurkan 5 ml PGPR ke dalam 1 L air, ditempatkan pada gelas (dibuatkan 4 gelas untuk masing-masing perlakuan), perlakuan waktu perendaman yaitu 0, 10, 20, dan 30 menit. Benih hasil perendaman ditiriskan terlebih dahulu. Budidaya wortel dilakukan pada lahan terbuka. Untuk tanaman wortel diperbanyak dengan biji langsung ditaburkan di lahan. Biji hasil perendaman, ditaburkan pada lahan bedengan, dengan dalamnya biji ± 1 cm dan ditutup tanah. Umur tanaman ± 14 hari, dilakukan penyemprotan dengan PGPR sesuai perlakuan yaitu 0; 1,25; 2,5 dan 3,75 cc/L, yang diaplikasikan pada tanaman di lahan sesuai dengan plot percobaan. Pengairan dilakukan secara intensif bila tidak ada hujan dan tanah menjadi kering. Selama budidaya, wortel mengalami serangan hama dan penyakit, untuk mengatasinya diberikan perlakuan penyemprotan dengan mempergunakan endofit (bahan dari bakteri untuk mengatasi jamur, dilakukan pada saat wortel berumur ± 16 hari, dilakukan 1 kali saja), sedangkan penyemprotan

dengan PGPR dilakukan sebanyak 2 – 4 kali tergantung serangan hama dan penyakit tanaman. Pemungutan hasil panen biasanya dilakukan pada saat tanaman berumur 4 bulan tergantung iklim setempat. Pemungutan umbi dilakukan saat umbi masih muda, sebab umbi yang sudah tua terasa keras. Tempat budidaya wortel pada lahan dapat di lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lahan budidaya wortel dengan aplikasi PGPR

Pernyataan Mishra *et al.* (2010), perawatan dengan PGPR meningkatkan persentase perkecambahan, kekuatan bibit, kemunculan, tegakan tanaman, pertumbuhan akar, pertumbuhan tunas, total biomassa tanaman, berat biji, berbunga awal dan hasil buah. Telah ditetapkan bahwa *Pseudomonas fluorescent* meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan beberapa cara yaitu memproduksi regulator pertumbuhan tanaman, seperti giberelin, sitokinin dan asam asetat indol, yang bisa langsung atau secara tidak langsung memodulasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Pengamatan dalam penelitian ini meliputi: analisis tanah (bahan organik dan unsur N, P, K) (AOAC, 1990), kadar residu insektisida (AOAC, 1990), kadar beta karoten (Apriyantono *et al.*, 1989), jumlah panen wortel, vitamin C (dibaca pada spektrofotometri dengan panjang gelombang 695 nm) (Kannan *et al.*, 2013), analisis tekstur (tipe tes ditekan, sensor yang digunakan adalah probe TA39 dengan kecepatan 20 mm/s) dan tingkat kecerahan (sensor yang ditempelkan pada sayuran dibaca angka pada display, warna yang terbaca tingkat kecerahan/L*). Data analisis laboratorium yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan analisis ragam atau *analysis of variance* (ANOVA), pengolahan data tersebut menggunakan program Minitab17 (Minitab, 2000).

Analisis Tanah

Tanah tempat budidaya wortel dilakukan analisis untuk melihat perbedaan keadaan tanah tanpa penggunaan PGPR dengan tanah yang diberikan perlakuan PGPR. Data analisis tanah sebelum dan sesudah mempergunakan PGPR dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data analisis tanah sebelum dan sesudah mempergunakan PGPR

Kadar	Sebelum	Sesudah
Bahan organik (%)	3,01	4,03
N (%)	0,24	0,55
P (ppm)	270,11	352,86
K (ppm)	105,34	257,34

Sumber data : data hasil analisis laboratorium (2019)

Tabel 1 terlihat bahwa tanah tempat budidaya wortel yang diberi perlakuan PGPR, mengalami sedikit peningkatan, yang tertinggi kandungan fosfat dalam tanah. Sama halnya dengan hasil penelitian Triani *et al.* (2020) menunjukkan bahwa setelah dilakukan aplikasi penggunaan PGPR pada budidaya sawi China diperoleh sedikit peningkatan kadar bahan organik (BO) dan kadar N, P, K. Hal ini disebabkan setelah aplikasi penggunaan PGPR, bakteri di dalam tanah lebih aktif dalam menyerap nutrisi mineral sehingga terjadi sedikit peningkatan pada kadar bahan organik dan N, P, K.

Hasil penelitian Naeima (2018) menyatakan sintesis auksin *fitohormon indole-3-acetic acid* (IAA) adalah salah satu efek PGPR yang langsung pada pertumbuhan tanaman. Hasilnya menunjukkan bahwa, total antioksidan meningkat pada media asam (pH 5 dan pH 6) dan alkali (pH 8), serta salinitas hingga 2%. Menurut Somayeh *et al.* (2017), bakteri dan jamur, terutama bakteri dari bahan pemacu pertumbuhan yang berasal dari pupuk hayati, dapat digunakan secara luas dalam produksi pertanian, meningkatkan produksi benih dan hasil, serta dapat pengendalian penyakit. Bakteri *Azetobacter spp.* dan *Pseudomonas spp.* adalah bakteri paling penting dalam meningkatkan unsur mineral tanah, mengatur pertumbuhan, serta mempengaruhi perkembangan dan hasil tanaman.

Bakteri secara langsung (dengan mengatur fisiologi tanaman melalui sintesis hormon tanaman) dan secara tidak langsung (peningkatan akses tanaman ke unsur hara dan mineral tanah) meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. *Azotobacter sp.* dan *Pseudomonas sp.* adalah bakteri paling penting yang meningkatkan unsur mineral tanah,

dengan produksi hal-hal yang mengatur pertumbuhan, mempengaruhi perkembangan dan hasil tanaman (Somayeh *et al.*, 2017). Hasil penelitian Setiyo *et al.* (2018), pada budidaya kentang yang menggunakan pupuk kompos kotoran ayam dilaporkan dapat meningkatkan kelembaban kapasitas lahan, terutama di zona akar. Kadar air kapasitas lapangan meningkat karena meningkatnya jumlah pori mikro di tanah.

Jumlah Panen

Budidaya wortel dengan perlakuan perendaman benih menggunakan PGPR dan penyemprotan PGPR setelah ditanam di bedengan, hasil panennya cukup bagus. Tanaman wortel tumbuh cukup tinggi, daunnya lebat dan umbinya cukup besar. Jumlah panen wortel keseluruhan yang bagus berkisar 702 umbi, sedangkan wortel yang rusak berkisar 243 umbi. Umbi wortel yang rusak yaitu umbi yang bercabang dan banyak akar (disekitar umbi dikelilingi akar yang besar). Wortel dari petani konvensional jumlah panen wortel yang bagus 795 umbi, sedangkan yang rusak 175 umbi, wortel yang rusak kebanyakan bercabang dan dikelilingi akar.

Hasil panen wortel tersebut dikelompokkan menjadi tiga kelas, kelas 1, 2 dan 3. Kelas 1 merupakan wortel hasil panen terbaik, sedangkan kelas 2 merupakan hasil panen wortel medium, terakhir kelas 3 merupakan wortel ukuran kecil. Berdasarkan hasil penelitian di lapangan (2019), rerata berat wortel hasil panen dengan perlakuan PGPR yaitu 66 g, rerata panjang wortel hasil panen yaitu 13 cm dan rerata lebar wortel hasil panen yaitu 10 cm. Wortel dari petani konvensional, berat wortel yaitu 72 g, panjang yaitu 15 cm dan lebar yaitu 12 cm. Gambar wortel hasil aplikasi PGPR dan dari petani konvensional dapat dilihat pada Gambar 2a dan 2b.



Gambar 2a. Wortel hasil aplikasi PGPR



Gambar 2b. Wortel dari petani konvensional

Hasil pengamatan terlihat bahwa wortel dari petani konvensional dari segi berat, panjang dan lebar sedikit lebih besar dibandingkan wortel dengan perlakuan PGPR, hal ini kemungkinan disebabkan karena budidaya wortel dengan perlakuan PGPR baru pertama kali dilakukan di Desa Mayungan, hasil panen sedikit berbeda dibandingkan panen wortel pada umumnya. Harus dilakukan pengulangan untuk budidaya dengan perlakuan PGPR agar mendapatkan hasil lebih baik dari wortel pada umumnya. Melek Ekinci *et al.* (2014), melaporkan bahwa beberapa penelitian penggunaan PGPR peningkatan diameter batang, berat akar dan tanaman lebih tahan terhadap kondisi stres seperti kekeringan dan penyakit. PGPR dapat diterapkan pada saat penaburan dan tahap transplantasi, karenanya digunakan untuk mengendalikan mikroorganisme berbahaya dan dapat meningkatkan pertumbuhan dalam kondisi stres serta tanaman sehat. Menurut beberapa penelitian terbaru, bakteri probiotik tanaman mampu berinteraksi dengan tanaman hortikultura sebagai interaksi beberapa senyawa tanaman, yang bermanfaat bagi kesehatan manusia serta memiliki peningkatan produksi. Aplikasi bakteri probiotik tanaman dilaporkan juga mampu meningkatkan kualitas buah dan sayuran seperti kandungan vitamin, flavonoid dan antioksidan serta manfaat lainnya. Pada masa depan, pendekatan penelitian seperti studi metabolisme, membandingkan buah dan sayuran yang ditanam dengan dan tanpa aplikasi bakteri probiotik tanaman, dapat mengungkapkan efek menguntungkan tambahan pada kualitas tanaman pangan dari aplikasi jenis bakteri ini (Jiménez-Gómez *et al.*, 2017).

Kadar Residu Insektisida

Penerapan penggunaan PGPR ini merupakan salah satu cara penerapan teknologi pertanian ramah lingkungan yang memanfaatkan mikroba dalam tanah untuk lebih aktif dalam meningkatkan pertumbuhan serta mampu mengatasi serangan penyakit dan hama tanaman. Budidaya wortel dengan penggunaan PGPR dalam pertanian di Desa Mayungan, Kabupaten Tabanan merupakan pertama kali dilakukan pada lahan di Desa Mayungan. Hasil panen wortel dengan perlakuan PGPR dibandingkan dengan wortel dari petani konvensional selama budidaya mempergunakan aplikasi insektisida untuk mengatasi hama. Sebagian petani ($\pm 70\%$) di Kabupaten Tabanan (Hasil survai, 2019), menggunakan insektisida golongan organofosfat dengan bahan aktif profenofos dalam budidaya sayuran. Data kadar residu insektisida profenofos dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data analisis kadar residu insektisida profenofos pada wortel

Perlakuan		Kadar residu insektisida profenofos (ppm)		
Lama perendaman benih (menit)	Konsentrasi penggunaan PGPR saat penyiraman (cc/L)	Hasil penerapan PGPR	Hasil dari petani konvensional	
Tanpa PGPR			0,069	
10	0	-		
	1,25	-		
30	1,25	-		
	2,50	-		

Keterangan : (-) tidak terdeteksi (ttd)

Sumber data : data hasil analisis laboratorium (2019)

Tabel 2 menunjukkan bahwa kadar residu insektisida profenofos pada wortel dengan beberapa perlakuan PGPR adalah tidak terdeteksi (ttd), sedangkan wortel hasil petani konvensional, kadar residu insektisida profenofos sebesar 0,069 ppm, data ini cukup berada di bawah batas baku mutu residu (BMR) untuk sayuran sebesar 0,1 ppm (BSN, 2008). Menurut Ashrafuzzaman *et al.* (2009), penggunaan PGPR sebagai inokulan biofertilizers adalah pendekatan yang efisien untuk menggantikan bahan kimia pupuk dan pestisida untuk penanaman padi berkelanjutan di Indonesia dan Bangladesh. Pada penelitian Liu *et al.* (2016) menunjukkan bahwa strain PGPR melindungi kubis terhadap busuk hitam dan meningkatkan pertumbuhan di rumah kaca dan kondisi lapangan. Strain PGPR dapat melindungi dari serangan *Ralstonia solanacearum* pada tomat dan *Colletotrichum gloeosporioides* pada cabai rawit dan mentimun.

Menurut Khalid *et al.* (2004), menunjukkan *B. subtilis* dan *P. Fluorescens* dilaporkan juga mampu menghasilkan *indole-acetic acid* (IAA), yang berfungsi sebagai stimulan pertumbuhan tanaman. Intensitas penyakit TuMV pada daun tanaman sawi menunjukkan bahwa aplikasi *P. fluorescens* dan *B. subtilis* serta kombinasinya dapat mengurangi intensitas penyakit TuMV pada daun sawi. PGPR dapat memicu mekanisme pertahanan tanaman terhadap patogen atau penyakit yang ditularkan melalui tanah, melalui mekanisme resistensi yang diinduksi, beberapa penelitian menunjukkan bahwa bibit yang diinokulasi dengan PGPR menunjukkan intensitas penyakit lebih rendah dari biji sawi yang tidak diinokulasi dengan PGPR.

Kadar Beta Karoten

Hasil analisis varian menunjukkan bahwa interaksi antara lama perendaman benih dengan PGPR dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap kadar beta karoten pada wortel. Nilai rerata kadar beta karoten pada wortel dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai rerata kadar beta karoten pada wortel

Lama perendaman benih (menit)	Perlakuan		Kadar Beta Karoten (mg/100 g) ¹⁾
	Konsentrasi penggunaan PGPR pada saat penyiraman (cc/L)		
30	2,5		55,12 ± 11,51 a
10	1,25		54,90 ± 9,50 a
20	3,75		45,35 ± 15,59 ab
30	0		41,88 ± 13,30 abc
30	1,25		40,03 ± 7,51 abc
10	0		39,66 ± 12,78 abc
30	3,75		37,91 ± 7,55 bcd
10	2,5		37,15 ± 14,97 bcd
20	1,25		36,47 ± 8,17 bcd
20	0		36,39 ± 11,24 bcd
0	0		35,48 ± 18,82 bcd
20	2,5		34,47 ± 8,22 bcd
0	3,75		33,64 ± 8,94 bcd
10	3,75		30,41 ± 8,37 bcd
0	1,25		28,46 ± 7,51 cd
0	2,5		22,72 ± 7,55 d
Petani konvensional			43,17 ± 11,19

Keterangan : 1) Nilai rerata yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan hasil yang berbeda nyata ($P < 0,05$). Sumber data : data hasil analisis laboratorium (2019)

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai rerata kadar beta karoten pada wortel berkisar antara 22,72-55,12 mg/ 100g. Perlakuan perendaman benih dengan PGPR selama 30 menit dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan sebanyak 2,5 cc/L yaitu 55,12 mg/100 g, yang tidak berbeda nyata dengan perendaman benih dengan PGPR selama 10 menit dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan sebanyak 1,25 cc/L yaitu 54,90 mg/100 g, tetapi berbeda nyata dengan tanpa perendaman benih dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan sebanyak 2,5 cc/L yaitu 22,72 mg/100 g. Rerata kadar beta karoten pada wortel yang menggunakan PGPR hampir sama dengan wortel hasil petani konvensional yaitu 43,17 mg/100 g.

Hal ini disebabkan oleh perendaman benih dan penggunaan konsentrasi PGPR selama penyiraman, lebih mengaktifkan kinerja bakteri di dalam tanah sehingga meningkatkan penyerapan mineral dan mengurangi penyakit atau kerusakan akibat serangan hama. Menurut Jiménez-Gómez *et al.* (2017), beberapa gambaran tentang bakteri probiotik tanaman yang digunakan sebagai pupuk hayati bertindak sebagai pendorong pertumbuhan tanaman, meningkatkan hasil dan beberapa parameter terkait dengan kualitas makanan. Aplikasi bakteri probiotik tanaman dilaporkan juga mampu meningkatkan kualitas buah dan sayuran seperti kandungan vitamin, flavonoid dan antioksidan serta manfaat lainnya.

Vitamin C

Hasil analisis varian menunjukkan bahwa interaksi antara lama perendaman benih dengan PGPR dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap kadar vitamin C pada wortel. Nilai rerata kadar vitamin C pada wortel dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai rerata kadar vitamin C berkisar 106,37 – 299,10 mg/ 100ml. Perlakuan perendaman benih dengan PGPR selama 30 menit dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan sebanyak 1,25 cc/L yaitu 299,10 mg/100 ml, yang tidak berbeda nyata dengan perendaman benih selama 30 menit dan tanpa penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan yaitu 268,85 mg/100 ml, tetapi berbeda nyata dengan perendaman benih dengan PGPR selama 10 menit dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan sebanyak 2,5 cc/L yaitu 106,37 mg/100 ml. Hasil penelitian menunjukkan rerata kadar vitamin C pada wortel yang diberikan perlakuan PGPR sedikit rendah dibandingkan wortel hasil petani konvensional yaitu 206,73 mg/100 ml.

Tabel 4. Nilai rerata kadar vitamin C pada wortel

Perlakuan		Vitamin C (mg/100 ml) ¹⁾
Lama perendaman benih (menit)	Konsentrasi penggunaan PGPR pada saat penyiraman (cc/L)	
30	1,25	299,10 ± 60,33 a
30	0	268,85 ± 56,08 ab
0	1,25	234,40 ± 66,22 abc
30	3,75	225,33 ± 45,20 abcd
20	1,25	219,03 ± 45,29 bcd
10	1,25	195,32 ± 37,42 cde
0	3,75	192,85 ± 65,49 cde
0	2,5	186,25 ± 90,67 cde
10	0	180,47 ± 35,87 cdef
20	0	169,88 ± 36,19 cdefg
0	0	152,10 ± 12,65 defg
20	3,75	151,32 ± 30,97 defg
10	3,75	138,85 ± 28,93 efg
20	2,5	118,15 ± 24,57 fg
30	2,5	115,29 ± 24,60 fg
10	2,5	106,37 ± 22,85 g
Petani konvensional		206,73 ± 13,75

Keterangan : 1) Nilai rerata yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan hasil yang berbeda nyata ($P < 0,05$). Sumber data : data hasil analisis laboratorium (2019)

Chennappa *et al.* (2017) melaporkan bahwa vitamin sangat penting untuk fungsi fisiologis makhluk hidup yang diproduksi oleh beberapa kelompok bakteri. Spesies *azetobacter* menghasilkan vitamin dalam kondisi yang menguntungkan, dan *A. vinelandii* dan *A. chroococcum* strain menghasilkan niasin, asam pantotenat, riboflavin, dan biotin yang termasuk dalam vitamin kelompok-B. Mereka digunakan untuk mempertahankan proses metabolisme makhluk hidup, tetapi produksi vitamin dikendalikan oleh beberapa faktor fisik seperti kondisi pertumbuhan, pH, suhu inkubasi, dan ketersediaan sumber nitrogen dan karbon

Tekstur

Hasil analisis varian menunjukkan bahwa interaksi antara lama perendaman benih dengan PGPR dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan berpengaruh berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap tekstur pada wortel. Nilai rerata tekstur pada wortel dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai rerata tekstur pada wortel

Perlakuan		Tekstur (kg.m/sec ²) ¹⁾
Lama perendaman benih (menit)	Konsentrasi penggunaan PGPR pada saat penyiraman (cc/L)	
20	2,5	37,72 ± 9,12 a
10	0	37,58 ± 9,32 a
30	2,5	37,44 ± 10,77 a
0	3,75	37,10 ± 8,55 a
10	1,25	36,75 ± 6,02 a
20	0	35,40 ± 7,72 a
0	2,5	35,19 ± 5,92 a
20	3,75	35,16 ± 5,44 a
10	2,5	34,71 ± 8,63 a
20	1,25	33,34 ± 8,12 ab
30	1,25	32,94 ± 6,73 ab
0	0	32,74 ± 8,37 ab
10	3,75	32,62 ± 5,38 ab
30	3,75	32,28 ± 6,25 ab
30	0	29,71 ± 5,22 ab
0	1,25	25,51 ± 5,48 b
Petani konvensional		31,13 ± 5,27

Keterangan : 1) Nilai rerata yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata ($P > 0,05$). Sumber data : data hasil analisis laboratorium (2019)

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai rerata nilai tekstur pada wortel berkisar 25,51 – 37,72 kg.m/sec². Perlakuan perendaman benih dengan PGPR selama 20 menit dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan sebesar 2,5 cc/L yaitu 37,72 kg.m/sec², yang berbeda nyata dengan perendaman benih dengan PGPR dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan sebanyak 1,25 cc/L yaitu 25,51 kg.m/sec².

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rerata nilai tekstur dari wortel yang diberikan perlakuan PGPR nilai teksturnya cukup tinggi dibandingkan dengan wortel hasil petani konvensional yaitu 31,13 kg.m/sec². Thompson (2003) melaporkan bahwa kondisi tekstur buah dapat berubah selama pematangan, ketika matang dengan cepat menjadi lebih lunak. Kehilangan kelembaban yang berlebihan juga dapat mempengaruhi tekstur tanaman. Kekerasan dapat digunakan untuk menilai kematangan hasil panen pada beberapa sayuran berdaun dan umbi.

Tingkat Kecerahan (L*)

Hasil analisis varian menunjukkan bahwa interaksi antara lama perendaman benih dengan PGPR dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan berpengaruh

berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap tingkat kecerahan (L^*) pada wortel. Nilai rerata tingkat kecerahan (L^*) pada wortel dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai rerata tingkat kecerahan pada wortel

Perlakuan		Tingkat Kecerahan (L^*) ¹⁾
Lama perendaman benih (menit)	Konsentrasi penggunaan PGPR pada saat penyiraman (cc/L)	
10	0	44,12 ± 2,92 a
30	3,75	43,91 ± 2,91 ab
30	2,5	41,68 ± 3,46 abc
20	0	41,22 ± 2,89 abcd
10	1,25	40,07 ± 3,09 abcde
20	2,5	39,63 ± 3,77 bcde
0	2,5	38,82 ± 3,22 cde
30	0	38,59 ± 3,19 cde
30	1,25	38,44 ± 3,27 cde
20	3,75	37,94 ± 3,20 cde
10	3,75	37,84 ± 3,33 cde
0	1,25	37,24 ± 3,32 de
0	0	37,03 ± 3,17 de
10	2,5	36,81 ± 2,94 e
20	1,25	36,39 ± 2,91 e
0	3,75	35,85 ± 3,42 e
Petani konvensional		43,04 ± 5,21

Keterangan : 1) Nilai rerata yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan hasil yang berbeda nyata ($P < 0,05$). Sumber data : data hasil analisis laboratorium (2019)

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai rerata tingkat kecerahan (L^*) wortel berkisar 35,85–44,12. Perlakuan perendaman benih dengan PGPR selama 10 menit dan tanpa penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan yaitu 44,12, yang tidak berbeda nyata dengan perendaman benih selama 30 menit dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan sebanyak 3,75 cc/L yaitu 43,91, tetapi berbeda nyata dengan perendaman benih selama 0; 10; 20 menit dan penggunaan PGPR pada saat penyiraman tanaman di bedengan sebanyak 1,25; 2,5; 3,75 cc/L yaitu 35,85; 36,39 dan 36,81. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rerata tingkat kecerahan (L^*) pada wortel dipengaruhi oleh perendaman benih dan aplikasi PGPR selama budidaya. Wortel perlakuan PGPR rerata tingkat kecerahan (L^*) hampir sama dibandingkan wortel hasil petani konvensional yaitu 43,04. Thompson (2003) melaporkan bahwa warna kulit pada buah mengalami perubahan sebagai akibat terjadinya tingkat kematangan, tetapi dalam beberapa buah tidak ada perubahan warna yang terlihat selama pematangan. Perubahan warna dapat terjadi hanya pada kultivar tertentu dan

warna kulit mungkin sebagian tergantung pada posisi buah pada pohon atau kondisi cuaca selama produksi, yang dapat digunakan untuk pengukuran kematangan.

Kesimpulan dan saran

Hasil penelitian disimpulkan bahwa penggunaan PGPR dalam budidaya mempengaruhi kadar beta karoten, vitamin C, tekstur dan tingkat kecerahan dari wortel yang dihasilkan. Untuk kondisi tanah, mengalami sedikit peningkatan setelah aplikasi penggunaan PGPR, tetapi untuk kondisi hasil panen masih dibawah dari hasil petani konvensional. Kadar residu insektisida pada wortel hasil aplikasi PGPR tidak terdeteksi, sedangkan wortel hasil petani konvensional 0,069 ppm. Rerata karakteristik wortel hasil budidaya mempergunakan aplikasi PGPR yaitu kadar beta karoten 38,30 mg/100g, vitamin C 186,76 mg/100ml, tekstur 34,23 kg.m/sec² dan tingkat kecerahan (L*) 39,24, sedangkan karakteristik wortel hasil petani konvensional yaitu kadar beta karoten 43,17 mg/100g, vitamin C 206,73 mg/100ml, tekstur 31,13 kg.m/sec² dan tingkat kecerahan (L*) 43,04. Hasil panen tersebut cukup baik, karena budidaya wortel dengan aplikasi PGPR baru pertama kali dilakukan pada lahan percobaan di Desa Mayungan. Budidaya dengan aplikasi PGPR merupakan suatu upaya awal penggunaan bahan alami dalam budidaya sayuran serta upaya dalam mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida kimia untuk pertanian di masa mendatang.

Daftar pustaka

- AOAC. 1990. Method of Analysis : Agricultural, Chemical, Contaminant and Drugs. 15th. Edited by Kenneth Helrich. Vol. 1.
- Apriyantono A,D. Fardiaz N.L. Puspitasari, Sedarnawati, & Budiyanto S. 1989. Analisis Pangan. PAU Pangan dan Gizi –IPB (IPB Press), Bogor.
- Ashrafuzzaman M.F.A., Hossen M.R., Ismail M.A., Hoque M Z, Islam S.M., Shahidullah S., & Meon. 2009. "Efficiency Of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) For The Enhancement Of Rice Growth." African Journal of Biotechnology, 8 (7): 1247 – 1252.
- BSN. 2008. Batas Maksimum Residu Pestisida pada Hasil Pertanian. Badan Standarisasi Nasional, SNI. 7313: 2008, Jakarta.
- Chennappa G.M.K., Naik Y.S., Amaresh H., Nagaraja, & Sreenivasa M.Y. 2017. Azotobacter: A Potential Biofertilizer and Bioinoculants for Sustainable Agriculture. Chap. 5, in Microorganisms for Green Revolution, Microorganisms for Sustainability 6, edited by D.G. Panpatte *et al.* (eds).

- Distan. 2019. Data Produksi Sayuran Di Kabupaten Tabanan Tahun 2016 – 2019. Dinas Pertanian Tanaman Pangan, Kabupaten Tabanan, Bali.
- FAO. 2015. Training Manual For Organic Agriculture. Ilka Gomez and Lisa THIVANT TECA, Team Research and Extension Division (DDNR) of the Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO).
- HAL. 2014. Carrot: Strategic Agrichemical Review Process 2011-2014. HAL using the vegetable industry levy and matched funds from the Australian Government, This project has been funded by HAL using the vegetable industry levy and matched funds from the Australian Government.
- Heidari M, Mousavinik S.M., & Golpayegani A. 2011. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Effect On Physiological Parameters And Mineral Uptake In Basil (*Ocimum Basilicum* L.) Under Water Stress. *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science*, 6 (5): 6 – 11.
- Jiménez-Gómez A, L. Celador-Lera M. Fradejas-Bayón, & Rivas R. 2017. Review Plant probiotic bacteria enhance the quality of fruit and horticultural crops. *AIMS Microbiology*, 3 (3): 483 – 501.
- Kannan R.R.R., Arumagam R., Thangaradjou T., & Anantharaman P. 2013. Phytochemical Constituents, Antioxidant properties and p-coumaric acid Analysis in some Seagrasses. *Fod. Res Int.*, 54 (1): 1229 – 1236.
- Khalid A., Arshad M., & Zahir Z.A. 2004. Screening Plant Growth-Promoting Rhizobacteria For Improving Growth And Yield Of Wheat. *Journal of Applied Microbiology*, 96: 473 -480.
- Liu K., Garrett C., Fadamiro H., & Kloepper J.W. 2016. Induction Of Systemic Resistance In Chinese Cabbage Against Black Rot By Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Biological Control*, journal, 99: 8 – 13.
- McMillan S. 2007. Promoting Growth With PGPR. *The Canadian Organic Grower*, Summer, 2007: 32 – 34.
- Melek E., Metin T., Ertan Y., Adem G., Recep K., & Atilla D. 2014. Effect Of Plant Growth Promoting Rhizobacteria On Growth, Nutrient, Organic Acid, Amino Acid And Hormone Content Of Cauliflower (*Brassica Oleracea* L. Var. *Botrytis*) Transplants. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus*, 13 (6): 71 – 85.
- Minitab. 2000. User's Guide 2: Data Analysis and Quality Tools. Release13 for Windows, minitab Inc, USA, 2000: 7 – 37.

- Mishra R.K., Prakash O., Alam M., & Dikshit A. 2010. Influence Of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) On The Productivity Of *Pelargonium Graveolens* L. Herit. *Recent Research in Science and Technology*, 2 (5): 53 – 57.
- Munarso S.J, Miskiyah F.N., & Broto W. 2009. Studi Kandungan Residu Pestisida pada Kubis, Tomat dan Wortel Di Malang dan Cianjur. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian, Badan Litbang Pertanian Kementerian Pertanian RI*, 5 (1): 1 – 15.
- Naeima M.H.Y. 2018. Capability of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) for Producing Indole Acetic Acid (IAA) Under Extreme Conditions. *European Journal of Biological Research*, 8 (4): 174 – 182.
- Setiyo Y., Gunam I.B.W., Gunadnya I.B.P, Susrusa K.B., Permana D.G.M., & Triani I.G.A.L. 2016. Improving Physical And Chemical Soil Characteristic On Potatoes (*Solanumtuberosum* L.) Cultivation by Implementation Of LEISA System. *Agriculture and agriculturan science procedia*, 9: 325 – 331.
- Setiyo Y., Yuliadhi K.A., Triani I.G.A.L., Permana I.D.G.M., Gunam I.B.W., & Antara N.S. 2018. Application Of Chicken Manure Compost As Organic Fertilizer To Improve The Quality And Productivity Of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Ecology, Environment and Conservation*, 24 (2): 621 – 627.
- Somayeh D., Ebrahimi M., & Shirmohammadi E. 2017. Influence of Plant-Growth-Promoting Bacteria on Germination, Growth and Nutrients' Uptake of *Onobrychis Sativa* L. Under Drought Stress. *Journal Of Plant Interactions*, 12 (1): 200 – 208.
- Thompson A.K. 2003. *Fruit and Vegetables: Harvesting, Handling and Storage*. Blackwell Publishing Ltd. www.blackwellpublishing.com.
- Triani I.G. A. L., Soemarno, Rahardjo B.T., & Zubaidah E. 2020. "The Influence of Treatment Variation of Plant Promoting Bacteria In Cultivation On The Quality Of Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L. Ssp. *pekinensis*).” *International Journal Of Biology and Biomedical Engineering*, 14 (2020): 114 – 127.

Chapter 5

POTENSI ANTOSIANIN TERONG BELANDA (*Solanum betaceum* Cav.) SEBAGAI PENURUN HIPERGLIKEMIK

Gusti Ayu Kadek Diah Puspawati

POTENSI ANTOSIANIN TERONG BELANDA (*Solanum betaceum Cav.*) SEBAGAI PENURUN HIPERGLIKEMIK

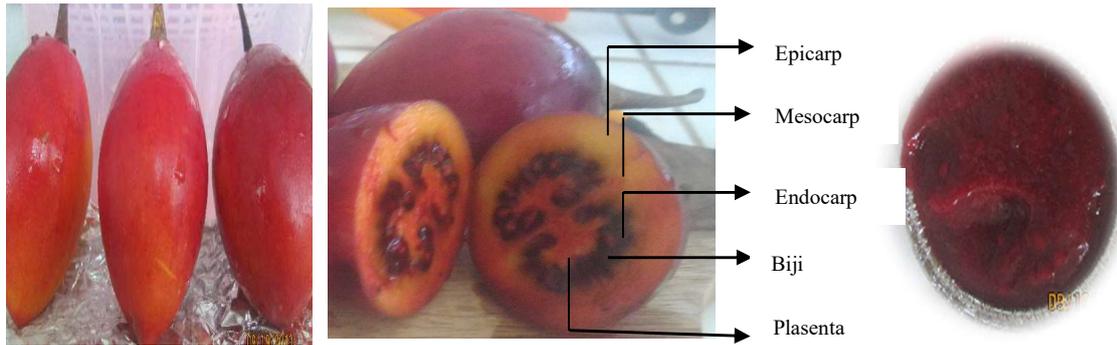
Gusti Ayu Kadek Diah Puspawati

Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Bali
Email: diahpuspawati@unud.ac.id

Pendahuluan

Terong belanda merupakan golongan sayuran buah yang varietasnya digolongkan berdasarkan warna kulit buah matangnya. Varietas terong belanda banyak dijumpai di Indonesia adalah varietas merah. Varietas ini memiliki warna kulit buah matang berwarna merah. Bentuk buah terong belanda adalah bulat lonjong/bulat telur memiliki warna daging buah oranye dan selaput lendir buah berwarna merah pekat dan biji berwarna hitam. Rasa buah terong belanda berasa asam segar dan sedikit manis. Buah terong belanda tumbuh baik pada daerah dataran tinggi. Buah terong belanda berasal atau buah asli dari Pegunungan Andes: Ekuador, Peru, Colombia, New Zealand dan masuk ke Indonesia diawali di Bogor yang dibawa atau ditanam oleh orang belanda. Oleh karena itu, dikenal dengan buah terong belanda. Buah terong belanda tumbuh baik pada dataran tinggi dengan ketinggian 700-2000 m dpl. Di Indonesia sudah tersebar di beberapa propinsi seperti di Jawa Tengah di Dataran Tinggi Dieng, di Jawa Timur di Dataran Tinggi Batu-Malang, di Jawa Barat ditemukan di Dataran Tinggi Bogor, di Sumatra di daerah Brastangi, di Sulawesi Selatan di daerah Toraja Utara, di Bali ditemukan di Dataran Tinggi Bedugul-Tabanan dan Dataran Tinggi-Bangli seperti Kintamani, dan Batur. Berdasarkan data BPS (Badan Pusat Statistik) produksi terong belanda di Indonesia pada tahun 2010 adalah 482.305 ton, tahun 2011 adalah 519.481 ton dan tahun 2012 adalah 518.448 ton (BPS, 2013). Nama terong belanda di beberapa daerah ada perbedaan nama misal di Bali sering disebut tamari, terung pirus (Toraja), tamarillo (luar negeri) dan *tomato tree* (luar negeri).

Buah terong belanda memiliki keunikan dari komponen pigmen pada bagian buahnya yaitu memiliki dua komponen pigmen secara bersama yaitu komponen karotenoid sebagai pigmen oranye pada bagian mesocarp (daging buah) dan pigmen antosianin yang memberikan warna merah pekat pada bagian endoscarp atau selaput lendir biji. Gambar bentuk dan bagian buah terong belanda dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Buah terong belanda, bagian buah dan puree terong belanda (sumber pribadi)

Berdasarkan Gambar 1 terlihat keunikan lain dari buah terong belanda yaitu bagian dari pigmen antosianin yang jauh lebih rendah dari bagian pigmen karotenoid, namun setelah dijadikan *puree* yang mendominasi adalah pigmen antosianinnya. Pada sirup markisa dan terong belanda warna terong belanda mendominasi yaitu merah walaupun dalam pembuatan kadar jus terong belanda sebesar 10%. Terong belanda dapat dikonsumsi segar sebagai jus, salad dan rujak. Bentuk olahan terong belanda mulai dikembangkan seperti menjadi manisan, jelly, dodol (45%), sirup dengan buah markisa (10%:90%), selai, *jelly drink* (50% jus terong belanda), marshmallow (30% jus terong belanda) dan minuman prebiotik (Rahayu, 2012; Bangun *et al.*, 2015; Devi *et al.*, 2018; Tapinongkol *et al.*, 2020). Terong belanda juga dimanfaatkan sebagai pewarna dan sumber antioksidan pada formulasi es krim. Delanoverina (2012) melaporkan terong belanda dapat sebagai pewarna es krim terbaik pada perbandingan 50 % jus terong belanda: 20% sukrosa, memiliki 4,59 mg/g total antosianin dan 12,79 mg/kg IC₅₀. Selain itu terong belanda dimanfaatkan dalam bentuk granula instan. Terong belanda juga dilaporkan memiliki keuntungan kesehatan seperti diketahui untuk anemia, penurunan kolesterol dan gula darah pada tikus hiperkolesterolemik, sebagai antikanker, sebagai penurunan gula darah dan berat badan pada obesitas dan penekan radikal bebas seperti sebagai penurunan kadar MDA dan meningkatkan aktivitas enzim SOD pada tikus hiperkolesterolemik, dan menekan stress oksidatif pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas (Kadir *et al.*, 2015; Lestari *et al.*, 2019; Puspawati *et al.*, 2020), namun belum digali informasi potensi terong belanda khususnya kandungan antosianin sebagai penurunan gula darah pada tikus diabetes tipe 2 yang tidak obesitas. Padahal kita ketahui diabetes bisa terjadi pada kondisi non obesitas dan obesitas. Menurut Prado (1998) diabetes tipe 2 pada non obesitas dan obesitas memiliki karakteristik yang sama, tetapi dalam perawatannya memiliki kemampuan yang berbeda, umumnya yang non

obesitas memerlukan kadar yang lebih rendah dalam menstimulus kondisi diabetes tipe 2 atau peningkatan efektifitas insulin.

Komposisi kimia terong belanda

Buah terong belanda memiliki komposisi zat gizi yang baik. Dataran tinggi Andes, Peru, Colombia dan New Zeland merupakan Negara asal buah terong belanda dikenal dengan nama buah tamarillo. Buah tamarillo dijadikan buah eksport dan memiliki keuntungan kesehatan yang baik. Hal ini akibat kandungan vitamin dan mineral yang sangat diperlukan tubuh. Buah terong belanda dikenal sumber vitamin: A, B6, C, and E; dan mineral kalsium, besi, dan phosphor, selain kaya akan pigmen karotenoid dan antosianin serta kaya serat pangan. Komposisi kimia buah terong belanda berdasarkan kajian literatur terdapat perbedaan berdasarkan negara asalnya. Komposisi kimia buah terong belanda dari beberapa negara dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia buah terong belada dari beberapa negara

Komposisi kimia	Ref1	Ref 2	Ref3	Ref4
Kadar air (g/100 g)	88,60	85,73±1,05	2,00±8,40	5,20±0,36
Kadar abu (g/100g)	1,51	1,03±0,06	0,90±0,01	1,03±0,01
Kadar protein (g/100 g)	1,82	1,99±0,03	2,20±0,02	1,60±0,20
Kadar lemak (g/100 g)	0,50	0,43±0,05	0,60±0,01	0,00±0,07
Kadar karbohidrat (g/100 g)	8,48	10,81±0,54	4,50±0,30	1,90±1,54
Kadar serat pangan (g/100 g)	7,63	2,77±0,01	-	6,00±2,50
Vitamin C (mg/100 g)	41,60	35,50±0,70	6,00±1,40	5,90±1,30
Antosianin (mg/100 g)	82,40	-	38,00±0,20	-
Karotenoid (mg/100 g)	1,71	-	5,20±0,50	4,80±0,10
Aktivitas antioksidan (mg AAE/100 g)	190,00	181,82±6,06	-	-

Ref 1 (Lister, *et al.*, 2005, tamarillo New Zealand); Ref 2; (Kou *et al.*, 2009, tamarillo Taiwan); Ref 3 (Vasco, *et al.*, 2009, tamarillo Equador); Ref,4(Mutalib, *et al.*, 2017, tamarillo Malaysia; AAE = asam askorbat ekuivalen

Tabel 1 menunjukkan buah terong belanda di Indonesia kandungan vitamin C lebih tinggi dibandingkan terong belanda dari negara lain, demikian juga aktivitas antioksidan, total antosianin dan kadar serat pangannya. Komposisi kimia buah terong belanda juga dilaporkan memiliki nitrogen total, asam anorganik (sitrat, malat, dan asam total), gula, sukrosa, glukosa,

fruktosa dan pektin. Berdasarkan kajian beberapa penelitian di Indonesia, komposisi kimia terong belanda di Indonesia juga terlihat berbeda. Komposisi kimia terong belanda di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi zat gizi buah terong belanda di Indonesia

Komposisi kimia	Jumlah*	Jumlah**	Jumlah***
Kadar air		82,7-87,8	85
Caroten (mg)		0,371-0,653	
Vitamin A (SI)	5,600	540	150-500
Vitamin B (mg)	0,03-0,14		
Vitamin B2 (mg)	0,01-0,05		
Vitamin B6 (mg)	0,01-0,05		
Vitamin C (mg)	15-42	23,3-33,9	25
Vitamin E (mg)	2		
Niasin (mg)	0,3-1,4	1,011	
Kalium (g)	0,28-0,38	3,9-11,3	
Natrium (g)	0		
Besi (g)	0,3-0,9	0,66-0,94	
Seng (g)	0,1-0,2		
Phospor		13,1	
Protein (g)	1,4-2	1,5	1,5
Karbohidrat		10,3	10
Lemak		0,06-1,28	0,006-1,26
Serat		1,4-4,2	1,4-4,2
Abu		0,61-0,84	0,7

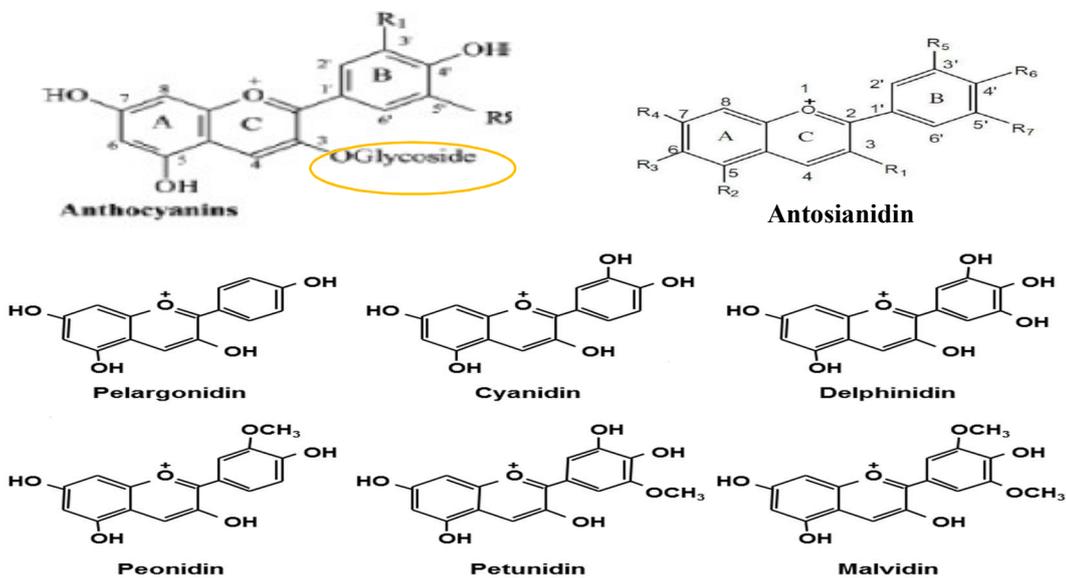
Sumber *Clinical Handbook (1995); ** Suprihartini, (2007); ***Kumalaningsih dan Suprayogi (2006)

Komposisi kimia atau zat gizi terong belanda ada kecenderungan perbedaan karena dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan tempat tumbuh meliputi iklim, kesuburan tanah, ketinggian dari permukaan laut. Faktor lain dapat dimungkinkan akibat beberapa sumber tidak seragam dalam menganalisis komposisi gizi dari buah terong belanda, ada yang tidak spesifik sampai ke jenis dan kadar vitamin dan mineral. Hal ini mungkin disebabkan oleh biaya untuk pengujian jenis vitamin dan mineral cukup besar, dibanding menguji kadar abu sebagai indikator mineral.

Antosianin pada Terong Belanda

Pigmen antosianin terong belanda khususnya pada varietas merah tergolong unik seperti yang dijelaskan di depan. Antosianin merupakan pigmen warna merah, ungu dan biru pada bahan alami. Antosianin selain tergolong pigmen, merupakan komponen bioaktif atau termasuk metabolit sekunder. Antosianin merupakan senyawa polifenol golongan flavonoid. Antosianin adalah polihidroksi dan polimetoksi, derivat dari garam flavylum (2-

phenylbenzopyrylium) (Kowalczyk *et al.*, 2003; Horbowicz *et al.*, 2008). Struktur dasar antosianin merupakan aglikon, pada cincin A dari aglikon terikat oleh glikon (gula) atau senyawa terasilasi. Aglikon terdiri dari: cincin aromatik (cincin A), diikat oleh cincin heterosiklik yang mengandung oksigen (cincin C) dan diikat dengan cincin aromatik lainnya (cincin B) membentuk C6-C3-C6. (Castañeda-ovando *et al.*, 2009). Struktur aglikonnya dikenal dengan nama antosianidin. Jenis antosianidin yang dominan pada bahan berkontribusi pada warnanya. Jenis antosianidin dikelompokkan dalam 6 golongan besar yang akan mengekspresikan warna dari antosianin yaitu: cyanidin (cy; magenta), delphinidin (dp; ungu), malvidin (mv; ungu), peonidin (pn; magenta), pelargonidin (pg; merah) dan petunidin (pt; ungu) (Ghosh & Konishi, 2007; Sancho & Pastore, 2012). Perbedaan dari keenam aglikon terjadi pada substitusi gugus metoksi dan hidroksi pada cincin B. Sementara gula yang terikat pada aglikon dalam bentuk mono, disakarida dan bentuk terasilasi dengan asam fenolik (asam alifatik) dan asam aromatik. Jenis gula yang sering ditemukan meliputi: glukosa, galaktosa, rhamnosa, arabinosa dan xylosa (Kowalczyk *et al.*, 2003; Horbowicz *et al.*, 2008). Bentuk disakarida antara lain: rutinoside (glukosa dan rhamnosa). Gula terikat pada atom carbon (C3, C5 dan C7) dan C3', C4' dan C5' (Wu *et al.*, 2006). Struktur antosianin dan enam jenis struktur aglikonnya (antosianidinnya) ditampilkan pada Gambar 2.

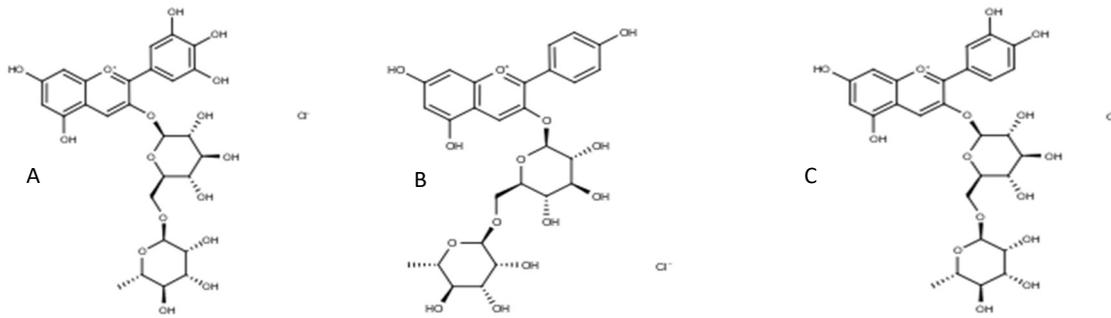


Gambar 2. Struktur antosianin dan enam jenis antosianidin (Sancho & Pastore, 2012)

Antosianin memiliki sifat larut air, kurang stabil terhadap pH, suhu dan oksigen. Antosianin sangat baik larut pada pelarut polar atau pelarut organik seperti etanol, metanol dan etil asetat serta air. Antosianin juga memiliki sifat kurang stabil terhadap pH, suhu dan oksigen.

Pengaruh pH pada antosianin berkaitan dengan warna yang ditampilkan. Menurut He dan Giusti (2010) melaporkan antosianin memiliki 4 bentuk warna dalam kestabilan yang berkaitan dengan pH yaitu: bentuk kation flavylum merah-oranye, *quinonoidal base* biru, *carbinol pseudobase* kurang berwarna dan kalkon tidak berwarna. Pada pH di bawah 2 akan dominan membentuk flavylum merah-oranye, pada pH 3-6 akan terjadi hidratasi yang cepat dari kation flavylum merah menghasilkan bentuk *carbinol pseudobase* kurang berwarna, kalkon tidak berwarna, tetapi pada kondisi netral dan sedikit asam akan berbentuk *quinonoidal base* (ungu/biru-violet). Antosianin kurang stabil pada suhu di atas 60°C pada pH 2 (He & Giusti, 2010), tetapi pada pH 8-9, suhu 60°C terjadi degradasi antosianin blueberry tercepat (Liu *et al.*, 2018). Oancea dan Draghici (2013) melaporkan degradasi antosianin sudah mulai terjadi pada suhu di atas 45°C. Keberadaan oksigen akan memicu terjadinya degradasi antosianin atau stabilitas bentuk antosianin.

Terong belanda dari Andes (Peru) dan New Zealand terdapat 6 jenis antosianin yaitu: *pelargonidin 3-rutinoside*, *cyanidin 3-rutinoside*, *delpinidin 3-rutinoside*, *pelargonidin 3-glucoside*, *cyanidin 3-glucoside*, dan *delpinidin 3-glucoside*, menggunakan *thin layer* (Wrolstad & Heatherbell, 1974). De Rosso & Mercadante (2007), melaporkan jenis antosianin terong belanda dari Brazilia ditemukan 3 jenis menggunakan HPLC-PDA-MS meliputi: *delpinidin 3-rutinoside*, *pelargonidin 3- α -L-rhamnopyranosyl-(1-6)- β -D-glucopyranoside* dan *cyanidin 3-rutinoside*. Terong belanda Equador menggunakan HPLC-PDA-ESI-MS ditemukan 4 jenis antosianin meliputi: *delpinidin glucocyl rutinoside*, *delpinidin rutinoside*, *cyanidin rutinoside* dan *pelargonidin rutinoside*, (Mertz *et al.*, 2009; Espin *et al.*, 2016). Terong belanda Colombia menggunakan HPLC-PDA-MS dilaporkan terdapat 5 jenis antosianin meliputi: *cyanidin 3-rutinoside*, *delpinidin 3-rutinoside*, *pelargonidin 3-rutinoside*, *delpinidin 3-O- α -L-rhamnopyranosyl-(1-6)- β -D-glucopyranoside 3-O- β -D-glucopyranoside* dan *pelargonidin p-coumaroyl rutinoside* (Osorio *et al.*, 2012). Dari jenis antosianin tersebut sebagian besar ditemukan jenis antosianin mayor meliputi: *delpinidin 3-rutinoside*, *cyanidin 3-rutinoside* dan *pelargonidin 3-rutinoside*. Jenis antosianin minor juga ditemukan yaitu: *delpinidin 3-O- α -L-rhamnopyranosyl-(1-6)- β -D-glucopyranoside-3'-O- β -D-glucopyranoside*. Berdasarkan kadar jenis antosianin yang paling dominan pada terong belanda Brazilia yaitu *delpinidin 3-rutinoside* (De Rosso & Mercadante 2007), sedangkan pada terong belanda Equador adalah *pelargonidin 3-rutinoside* (Mertz *et al.*, 2009). Struktur ketiga antosianin mayor terong belanda ditampilkan pada Gambar 3.

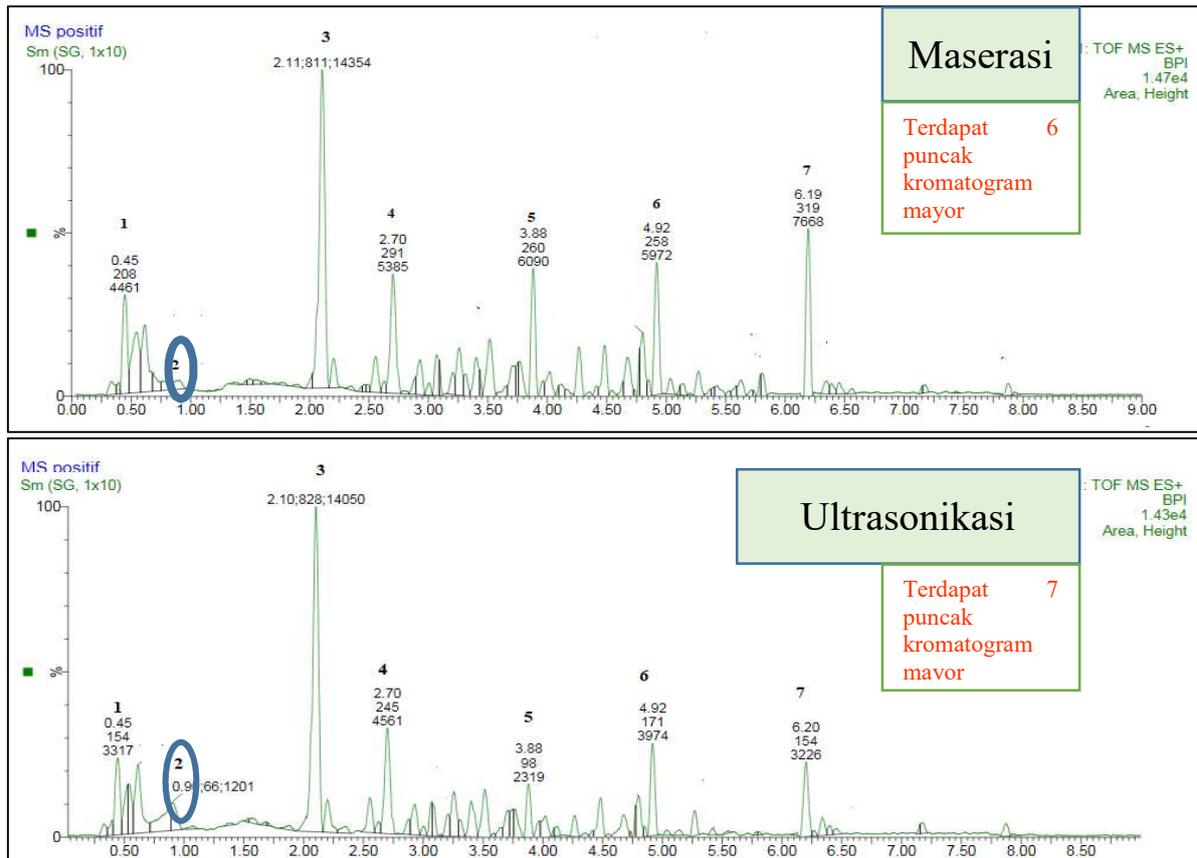


Gambar 3. Struktur antosianin terong belanda: A) *delpinidin 3-rutinoside*; B) *pelargonidin 3-rutinoside*; C) *cyanidin 3-rutinoside* ([www.chemspider](http://www.chemspider.com))

Hurtado *et al.* (2009), melaporkan *delpinidin 3-rutinoside* pada terong belanda memiliki sifat yang tidak stabil, akibat perubahan pH, tetapi terjadinya penggantian 3''-OH pada rutinosside dengan kelompok glikosil meningkatkan stabilitasnya. *Delpinidin 3-rutinoside* lebih stabil pada pH 3,4 sampai 6,2 dibandingkan dengan *pelargonidin 3-rutinoside*, dan *cyanidin 3 rutinoside*, tetapi pada pH 2 sampai 3,4, *delpinidin 3-rutinoside* lebih tidak stabil dibandingkan dengan *pelargonidin 3-rutinoside*.

Aktivitas antioksidan *delpinidin 3-rutinoide* dalam menangkap radikal bebas ABTS, lebih efisien dibandingkan dengan *cyanidin 3-rutinoside* dan *palargonidin 3-rutinoside*. Hal ini disebabkan *delpinidin-3-rutinoside* memiliki gugus hidroksil dengan posisi orto pada cincin B (C3', C5' dengan C4'). *Delpinidin 3-rutinoside*, *cyanidin 3-rutinoside* dan *pelargonidin 3-rutinoside* dalam metabolismenya, sebagian mengalami metilasi, hidrolisis dalam bentuk aglikon, glukosa dan sulfat terkonjugasi serta ada yang tidak dihidrolisis (bentuk asli). *Delpinidin 3-rutinoside* sebagian mengalami metilasi menjadi (4'-O-methyl *delpinidin 3-rutinoside*), sedangkan *cyanidin* dapat berbentuk *glucuronyl conjugated* dan *pelargonidin* dapat berbentuk *glucoronyl* dan *sulfat conjugated* (HiItoshi Matsumoto *et al.*, 2006; Hurtado *et al.*, 2009).

Jenis antosianin terong belanda di Indonesia telah dilaporkan Puspawati *et al.* (2018) yaitu: Pg-3-rutinoside, Cy-3-rutinoside, Pg-3-rhamnoside-cafeoylglucose, Dp-3-rutinosid, Dp-3-glucoside-5-rhamnoside, Cy-3-O-glucosyl-rutinoside dan Dp-3-(6-z-p-coumaroylglucoside)-5-(6-malonylglucoside). Hasil identifikasi jenis antosianin terong belanda di Indonesia yang diekstraksi menggunakan metode ekstraksi maserasi dan ultrasonikasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil identifikasi antiosianin dari ekstrak terong belanda kaya melalui metode ekstaksi maserasi dan ultrasonikasi (Puspawati, 2019)

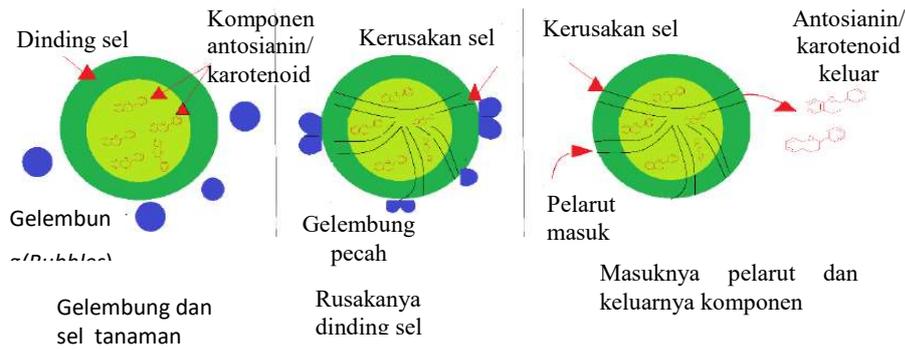
Jenis antiosianin ini akan mempengaruhi keefektifan fungsinya dalam memberikan keuntungan kesehatan seperti fungsi sebagai antioksidan. Antiosianin tidak bersifat toksik, namun jika berlebih dapat memberikan efek negatif sehingga konsumsi antiosianin sesuai dengan ADI (*Acceptable Daily Intake*) sebesar 2,5 mg/kg berat badan per hari dan NOEL (*no-observed-effect-level*) sebesar 225 mg/kg berat badan. Antiosianin secara *in vitro* dapat berfungsi sebagai antioksidan dengan kemampuan menekan oksidatif stress akibat ketidakseimbangan radikal bebas/kelebihan radikal bebas. Fungsi antiosianin penekan stress oksidatif melalui kemampuan secara efektif sebagai *quenching* dan terminasi radikal bebas (He & Giusti, 2010). Antiosianin juga dilaporkan berpotensi memberikan keuntungan kesehatan untuk mencegah penyakit tidak menular seperti penyakit kardiovaskuler, anti-imflamasi, anti-karsinogenik, mencegah obesitas dan mengontrol diabetes pada obesitas.

Ekstraksi Antosianin Metode Ultrasonikasi

Ekstraksi merupakan suatu cara untuk mendapatkan komponen yang ada dalam bahan pangan misalnya komponen antosianin dengan menggunakan pelarut atau prinsip transfer masa akibat adanya pelarut. Faktor yang dapat mempengaruhi hasil yang diharapkan agar maksimal meliputi: ukuran bahan, perbandingan bahan dengan pelarut, jenis pelarut, suhu ekstraksi, waktu ekstraksi dan metode ekstraksi. Metode ekstraksi merupakan faktor yang efisien untuk dikaji. Hal ini diakibatkan metode ekstraksi akan berkaitan dengan kondisi ekstraksi misal suhu dan lama ekstraksi serta perbandingan bahan dengan pelarut.

Metode ekstraksi seperti halnya metode ekstraksi antosianin dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok besar yaitu metode ekstraksi tradisional dan metode ekstraksi modern. Metode ekstraksi tradisional diantaranya: metode maserasi, dan sokletasi. Metode modern diantaranya: ultrasonikasi atau *ultrasound assisted extraction* (UAE) dan *microwave assisted extraction* (MAE). Metode ekstraksi antosianin dengan ultrasonikasi mulai dilirik, keuntungan dari metode ultrasonikasi dapat bekerja pada suhu yang rendah seperti halnya maserasi dan waktu yang dibutuhkan untuk ekstraksi antosianin tergolong singkat dibandingkan dengan maserasi. Puspawati *et al.* (2018) melaporkan metode ekstraksi ultrasonikasi untuk ekstraksi antosianin terong belanda dibandingkan metode maserasi dapat meningkatkan rendemen, total antosianin dan memperbanyak jenis antosianin yang teridentifikasi.

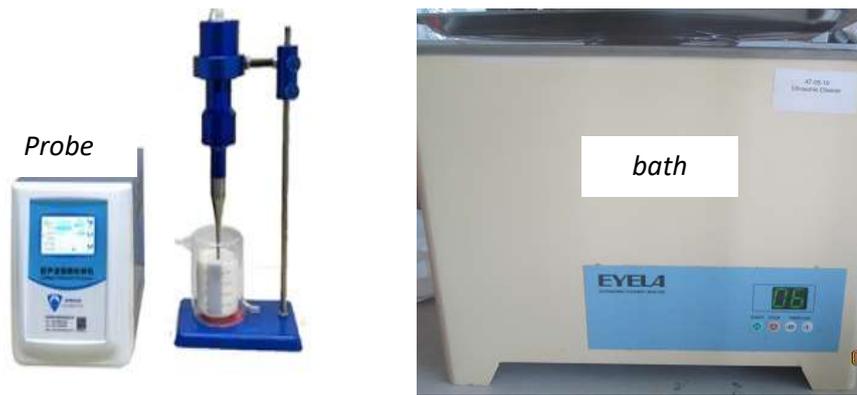
Metode ultrasonikasi merupakan ekstraksi pada campuran bahan dengan pelarut yang mendapatkan gaya mekanik melalui akustik kavitasi gelombang ultrasonik. Prinsip kerja dari metode ini adalah gerakan mekanik dari gelombang ultrasonik pada medium, menyebabkan terjadi akustik kavitasi (mengecil, membesar dan pecahnya gelembung). Proses membesar, mengecil sampai kolapnya gelembung ini dikenal dengan istilah kavitasi. Pecah atau kolapnya gelembung tersebut menyebabkan terbentuk energi, peningkatan suhu dan tekanan, sehingga menyebabkan terbentuk jet mikro (*micro jet*). Kondisi tersebut terjadi pada permukaan bahan sehingga menyebabkan kerusakan permukaan bahan yang berbentuk pori-pori dipermukaan sel bahan. Bentuk pori pori tersebut dalam sehingga langsung sampai ke dalam sel bahan tempat senyawa komponen bioaktif/antosianin target. Proses tersebut berlangsung cepat, sehingga transfer masa lebih cepat dan komponen yang terekstrak lebih banyak (Khanh, 2015; Majid *et al.*, 2015; Chemat *et al.*, 2017; Medina-torres *et al.*, 2017). Gambaran prinsip kerja ekstraksi metode ultrasonikasi ditampilkan Gambar 5.



Gambar 5. Fenomena yang terjadi saat terjadi ekstraksi komponen pangan metode ultrasonikasi (Medina-torres *et al.*, 2017)

Proses kavitasi ultrasonikasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya frekuensi dan suhu, selain faktor yang meliputi: ukuran bahan, perbandingan bahan dengan pelarut dan waktu ekstraksi. Frekuensi ultrasonik akan mempengaruhi ukuran gelembung yang terbentuk. Frekuensi gelombang ultrasonik untuk ekstraksi adalah 20 kHz sampai 10 MHz. Pada frekuensi rendah (20 kHz) terbentuk gelembung berukuran besar dan energi besar, sedangkan pada frekuensi tinggi, gelembung sulit terbentuk, sehingga kavitasi tidak terjadi. Suhu dapat mempengaruhi intensitas gelembung kolap yaitu: pada suhu lebih tinggi, kavitasi terjadi cepat, tetapi intensitas gelembung kolap menurun (Khanh, 2015; Rodrigues *et al.*, 2015).

Keuntungan metode ultrasonikasi meliputi: waktu ekstraksi lebih singkat, rendemen relatif lebih banyak, dapat dilakukan pada suhu rendah, peralatan lebih sederhana dan lebih murah dibandingkan metode modern lainnya antara lain: *supercritical fluid extraction*. Kerugiannya adalah kinetika dan rendemen tergantung matrik alami bahan, bagian aktif ultrasonikasi terbatas hanya pada zone di dekat emittersnya dan kekuatan gelombang suara ultrasonik dapat lemah karena selama proses terjadi dispersi. Gelombang ultrasonik juga dapat menyebabkan penurunan kualitas produk dengan munculnya *off-flavours*, modifikasi fisik dan degradasi senyawa. Pada proses ultrasonikasi juga dapat menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas terbentuk akibat pemecahan air yang beresilasi menjadi radikal bebas H^+ dan OH (Pingret *et al.*, 2013; Khanh, 2015). Ekstraksi ultrasonikasi terong belanda sebelumnya telah dilakukan, tetapi masih terbatas pada bagian kulit terong belanda dan suhu tergolong tinggi (60 °C) selama 30 menit (Asmara *et al.*, 2013). Alat ultrasonikasi disebut sonikator. Alat tersebut ada dua jenis yaitu: bentuk *probe* dan *bath*, dilihat pada Gambar 6



Gambar 8. Jenis alat sonikator *probe* dan *bath*

Diabetes Tipe 2

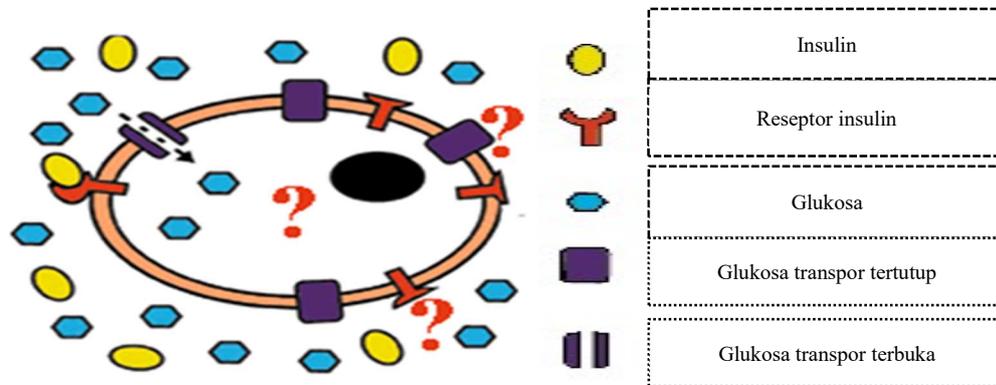
Diabetes merupakan penyakit gangguan metabolik dengan kondisi kronis pada gangguan metabolisme karbohidrat, lemak dan protein yang ditandai hiperglikemia akibat dari gangguan sekresi insulin dan/atau aktivitas insulin (WHO, 2013). Perkembangan hiperglikemia dapat menyebabkan peningkatan radikal bebas dan penurunan sistem antioksidan tubuh sehingga terjadi stres oksidatif. Stres oksidatif merupakan kondisi ketidakseimbangan antara radikal bebas dengan pertahanan antioksidan tubuh. Stres oksidatif selanjutnya dapat menimbulkan kerusakan oksidatif pada komponen sel seperti kerusakan protein, peroksidasi lipida dan kerusakan DNA (Rahimi *et al.*, 2005).

Diabetes diklasifikasi berdasarkan etiologi penyakit menjadi 5 tipe meliputi: (1) tipe 1; (2) tipe 2; (3) diabetes yang berasosiasi dengan kondisi lain; (4) *impaired glucose tolerance*; dan (5) gestational diabetes. Tipe diabetes yang umum adalah diabetes tipe 1 dan tipe 2 (Bilous dan Donnelly, 2010). Diabetes tipe 2 merupakan diabetes dengan prevalensi paling tinggi mencapai 90% dari seluruh prevalensi

Prevalensi diabetes setiap tahun mengalami peningkatan. Prevalensi diabetes tahun 2017 pada usia 20 sampai 79 tahun mencapai 425 juta jiwa, tahun 2019 sudah mencapai 463 juta jiwa. Prediksi tahun 2045 mencapai 700 juta jiwa. Prevalensi diabetes sebesar 79% pada golongan ekonomi menengah dan rendah, satu dari lima umur 65 menderita diabetes, 1 dari 232 juta jiwa diabetes tidak terdiagnosis, 4,2 juta jiwa penyebab kematian, 374 juta jiwa meningkat resiko diabetes tipe 2 (IDF, 2017).

Diabetes tipe 2 (*Non Insulin Dependent Diabetes Mellitus/NIDDM*) dikenal juga dengan nama *adult onset diabetes*, *maturity inset diabetes*, ketosis resisten diabetes. Diabetes tipe 2 yaitu diabetes yang disebabkan insulin yang diproduksi tidak mampu bekerja menetralkan

kelebihan gula darah sehingga terjadi penurunan sensitivitas insulin dan resistensi insulin. Resistensi insulin adalah sel dari jaringan target tidak dapat merespon insulin (Kaku, 2010). Gangguan sistem insulin pada diabetes tipe 2 ditampilkan pada Gambar 7 yang ditandai dengan “?” (Merentek, 2006).



Gambar 7. Gangguan sistem insulin pada diabetes tipe 2 (Merentek, 2006)

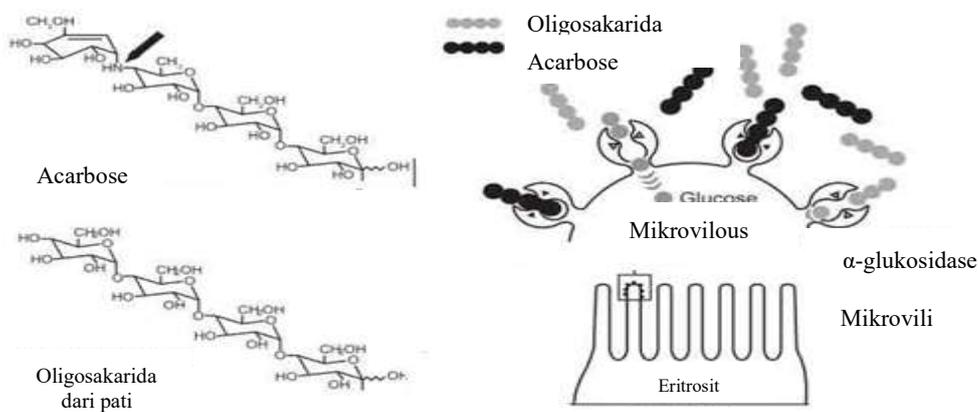
Penyebab terjadinya diabetes tipe 2 adalah pola makan kurang baik, gaya hidup tidak sehat dan obesitas (kegemukan). Patologi diabetes tipe 2 berkaitan dengan resistensi insulin dan penurunan sekresi insulin. Resistensi insulin dapat disebabkan faktor lingkungan: obesitas, stres kronis dan faktor genetik. Diabetes tipe 2 diawali dari produksi insulin tinggi akibat glukosa tinggi, namun seiring waktu terjadi penurunan insulin yang diakibatkan penurunan fungsi sel β dalam memproduksi insulin sehingga terjadi hiperglikemia dan stres oksidatif (Kaku, 2010).

Diabetes type 2 selain pada kondisi obesitas dapat juga terjadi pada yang non obesitas. Diabetes obesitas dan non obesitas terdapat perbedaan patologis pada kadar insulin dan kondisi resistensi insulinnya. Sebagai contoh kadar insulin puasa dan sensitivitas insulin pada diabetes non obesitas lebih rendah daripada diabetes obesitas berturut turut (7,7 dengan 17,1); (97 dengan 11) (Arner *et al.*, 1991).

Potensi Antosianin Terong Belanda sebagai Penurun Hiperglikemik

Gula darah yang tinggi (hiperglikemik) dapat terjadi pada penderita diabetes atau belum diabetes (pre diabetes). Terong belanda diketahui memiliki potensi sebagai penurun gula darah dan kolesterol pada tikus obesitas (Kadir *et al.*, 2017). Terong belanda melalui ekstrak yang kaya pigmen antosianin diketahui telah memiliki potensi sebagai penurun gula darah pada kondisi hiperglikemia (Puspawati, 2019). Puspawati *et al.* (2018) juga melaporkan secara *in vitro* ekstrak terong belanda yang kaya antosianin memiliki potensi sebagai penghambat

enzim α -glukosidase. Keterkaitan antara penghambatan enzim ini dengan kemampuan ekstrak terong belanda kaya antosianin dalam menurunkan gula darah dilihat dari terhambatnya penyerapan glukosa ke sirkulasi darah. Enzim ini berfungsi menghidrolisis karbohidrat di dinding usus halus menjadi glukosa. Efek dari terhambatnya kerja enzim tersebut oleh ekstrak terong belanda, maka karbohidrat yang berada di dinding usus halus terhambat terhidrolisis menjadi glukosa sehingga tidak terjadi transfer glukosa ke sirkulasi darah. Hal ini berakibat jumlah glukosa darah menurun. Kemampuan ekstrak terong belanda kaya antosianin dalam menghambat aktivitas enzim α -glukosidase sebesar 48,08% sementara acarbose sebesar 73,76% (Puspawati *et al.*, 2018). Acarbose merupakan obat diabetes sebagai penurun gula darah dengan mekanisme kerja menghambat enzim α -glukosidase. Mekanisme acarbose dalam menghambat enzim α -glukosidase ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Mekanisme penghambatan enzim α -glukosidase oleh acarbose (Bischoff, 1994)

Acarbose dalam menurunkan glukosa darah dengan cara kompetitif inhibitor yaitu memblok sisi aktif enzim terhadap substrat, sehingga enzim α -glukosidase tidak dapat berikatan dengan substrat. Hal tersebut diakibatkan acarbose memiliki kemiripan dengan struktur substrat α -glukosidase dan adanya gugus hidroksil yang menyebabkan terjadinya ikatan hidrogen antara acarbose dengan substrat (Bjelakovi *et al.*, 2002).

Puspawati (2019) melaporkan ekstrak terong belanda yang kaya antosianin berpotensi sebagai penurun gula darah secara *in vivo* pada tikus *Sprague Dawley* diabetes tipe 2 non obesitas. Kemampuan ini dapat dilihat dari kadar gula darah pada tikus diabet tipe 2 non obesitas yang diintervensi ekstrak terong belanda kaya antosianin lebih rendah sebesar 59,20% dibandingkan kadar gula darah tikus diabetes tipe 2 non obesitas. Kadar gula darah tikus diabetes tipe 2 non obesitas diatas 200 mg/dl yaitu sebesar 255,34 mg/dl, sedangkan yang

diintervensi ekstrak terong belanda kaya antosianin dibawah 200 mg/dl yaitu 104,18 mg/dl, tetapi kemampuannya lebih rendah dari yang diintervensi obat diabetes metformin. Perbedaannya sebesar 63,88% dari 259,12 mg/dl pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas dan 93,58 mg/dl pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas yang diintervensi obat metformin.

Kemampuan menurunkan gula darah didukung pula oleh kemampuan ekstrak terong belanda kaya antosianin dalam meningkatkan kadar insulin pada *Sprague Dawley* diabetes tipe 2 non obesitas. Pemberian ekstrak terong belanda kaya antosianin pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas dapat menyebabkan kadar insulinnya lebih tinggi sebesar 52,32% dibandingkan dengan kadar insulin dari tikus diabetes tipe 2 non obesitas. Kadar insulin sebesar $8,88 \pm 1,73$ $\mu\text{U/mL}$ pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas yang diintervensi ekstrak terong belanda kaya antosianin, sementara pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas sebesar $5,83 \pm 0,70$ $\mu\text{U/mL}$. (Puspawati, 2019)

Puspawati (2019) juga melaporkan potensi ekstrak terong belanda yang kaya antosianin atau diet antosianin terong belanda dalam menurunkan kadar gula darah dan meningkatkan insulin pada *Sprague Dawley* diabetes tipe 2 non obesitas menyebabkan terjadi penurunan resistensi insulin. Hal ini dilihat dari nilai HOMA IR tikus diabetes tipe 2 non obesitas yang diet antosianin terong belanda lebih rendah dibandingkan tikus diabetes tipe 2 non obesitas (Tabel 3). Efek dari potensi menurunkan gula darah dan meningkatkan kadar insulin dari antosianin terong belanda juga menyebabkan terjadinya peningkatan fungsi sel β pankreas. Sel β pada langherhans pankreas ini berfungsi menghasilkan insulin. Hal ini dilihat dari nilai HOMA β . Nilai HOMA β tikus diabetes tipe 2 non obesitas yang diet antosianin terong belanda lebih tinggi dari tikus diabetes tipe 2 non obesitas (Tabel 3).

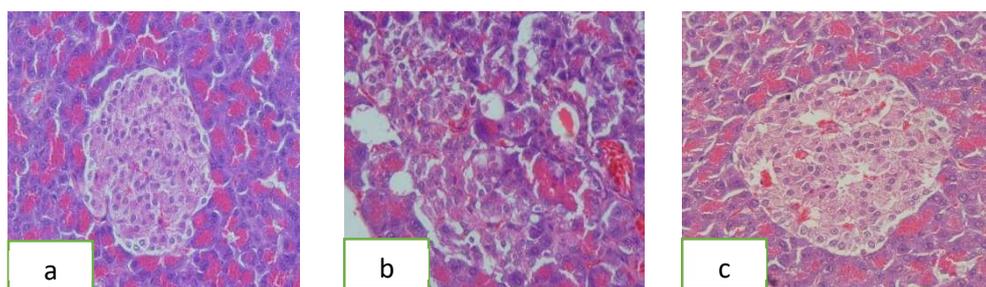
Tabel 3. Nilai HOMA-IR dan HOMA- β *Sprague Dawley* setelah intervensi 28 hari

Kelompok <i>Sprague Dawley</i>	HOMA-IR	HOMA- β
Non obesitas sehat	$1,55 \pm 0,17$ d	$295,41 \pm 47,80$ a
Diabetes tipe 2 non obesitas	$3,72 \pm 0,47$ a	$10,75 \pm 1,25$ d
Diabetes tipe 2 non obesitas diet obat metformin	$1,37 \pm 0,07$ d	$71,20 \pm 13,52$ b
Diabetes tipe 2 non obesitas diet antosianin terong belanda	$2,28 \pm 0,45$ c	$77,87 \pm 15,40$ b

Diet antosianin terong belanda pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas menyebabkan nilai HOMA IR sebesar 2,28, sementara pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas sebesar 3,72. Nilai HOMA IR tikus diabetes tipe 2 non obesitas yang diet antosianin terong belanda hampir mendekati normal. Kondisi resistensi insulin tergolong normal jika HOMA-IR $< 2,0$ (Tabatabaei *et al.*, 2013).

Kondisi resistensi insulin mendekati normal ini ditunjang pula oleh nilai HOMA β yang lebih tinggi sebesar 77,87, sementara pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas sebesar 10,75. Nilai HOMA β pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas, diet antosianin terong belanda belum mencapai kondisi normal. Nilai HOMA- β tergolong normal, jika HOMA- β >107 (Ciampeli *et al.*, 2005). Hal ini mengindikasikan walaupun resistensi insulin hampir mendekati normal, tidak sepenuhnya didukung oleh kondisi fungsi sel β yang sudah mendekati normal, tetapi dapat pula didukung oleh kemampuan lain seperti kemampuan mengangkut gula darah untuk bisa disintesa menjadi glikogen. Hal ini didukung oleh kadar GLUT4. GLUT4 merupakan glukosa transpoter. GLUT 4 ini berfungsi membawa glukosa darah ke jaringan otot skeletal untuk disintesis menjadi glikogen atau masa otot. Peningkatan kadar GLUT4 sebagai indikator terjadinya kegiatan pengangkutan glukosa darah ke jaringan otot skeletal, yang berakibat pada penurunan gula darah. Perbedaan kadar GLUT4 pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas diet antosianin terong belanda sebesar 58,29% lebih tinggi dari tikus diabetes tipe 2 non obesitas. Kadar GLUT4 tikus diabetes tipe 2 non obesitas diet antosianin terong belanda sebesar 471,59 ng/mL, sementara tikus diabetes tipe 2 non obesitas sebesar 297,93 ng/mL. Kemampuan meningkatkan kadar GLUT4 hampir sama dengan kemampuan obat metformin. Kadar GLUT4 pada tikus diabetes tipe 2 non obesitas diet obat metformin sebesar 478,16 ng/mL (Puspawati, 2019).

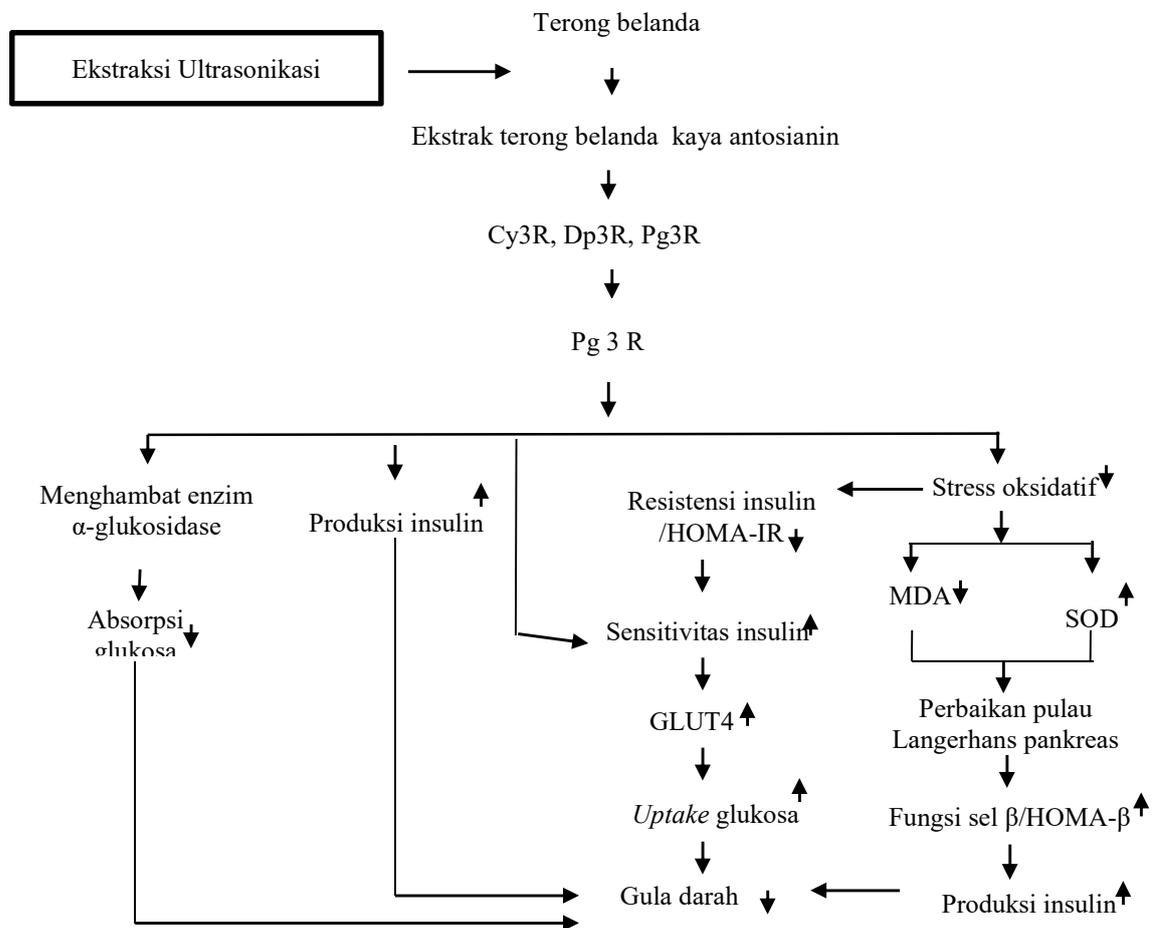
Kemampuan peningkatan fungsi sel β atau peningkatan nilai HOMA β dapat didukung dari hasil histopatologi pulau langerhan pankreas. Tikus diabetes tipe 2 diet antosianin terong belanda terlihat bentuk pulau langerhan pankreas lebih baik dibandingkan dengan tikus diabetes tipe 2 non obesitas (Gambar 9)



Gambar 9. Gambaran histopatologi pulau langerhans pankreas *Sprague Dawley* perbesaran 400 kali pada tikus non obesitas sehat (a); tikus diabetes tipe 2 non obesitas (b) dan tikus diabetes tipe 2 non obesitas diet antosianin terong belanda (c) (Puspawati, 2019).

Gambaran pulau Langerhans pada tikus sehat non obesitas (gambar 9a) menunjukkan susunan endokrin menyebar di pulau Langerhan dengan bentuk sel seragam, inti sel endokrin berwarna ungu kebiruan berbentuk bulat, nukleolus jelas terlihat, sitoplasma berwarna merah muda, sel endokrin utuh dan normal. Pada tikus diabees tipe 2 non obesitas (Gambar 9b) terlihat adanya lesio jaringan pankreas, degenerasi sel endokrin di pulau Langerhans, terjadi piknosis (sel endokrin mengerut/mengecil), kemudian nekrosis, menghilang, hanya terlihat sitoplasma kosong dan berisi deposit glikogen, membesar tanpa inti atau terjadi vakuolisasi. Nekrosis merupakan kematian sel yang terjadi setelah suplai darah hilang atau adanya toksin yang ditandai dengan proses vakuolisasi (pembengkakan sel), denaturasi protein dan kerusakan organela. Selain nekrosis terdapat pola kematian sel apoptosis. Apoptosis terjadi dalam kondisi sel yang tidak dikehendaki dieliminasi pada kondisi fisiologis dan kerusakan mutasi yang tidak dapat diperbaiki (kondisi patologis) (Tatar *et al.*, 2012). Pulau langerhans pankreas tikus diabetes tipe 2 non obesitas diet antosianin terong belanda (Gambar 9 c) menunjukkan terjadi perbaikan sel endokrin di pulau Langerhans, sel endokrin normal terlihat lebih banyak dan sitoplasma yang kosong tanpa inti berkurang (Kanter *et al.*, 2003), walaupun tidak sebaik pada tikus non obesitas sehat.

Kemampuan antosianin terong belanda sebagai penurun gula darah pada tikus *Sprague Dawley* diabetes tipe 2 non obesitas (induksi *Streptozotoin Nicotinamida*/STZ-NA) dapat disebabkan adanya jenis antosianin terbanyak pelargonidin-3-rutinoside dan adanya delphinidin 3-rutinoside dan sianidin 3-rutinoside. Senyawa ini memiliki kemampuan menghambat enzim α -glukosidase sehingga dapat menghambat terbentuknya glukosa yang akan ditransfer ke darah. Faktor lain akibat adanya fungsi antioksidan dari senyawa antosianin dalam menekan stress oksidatif sehingga kerusakan sel β pankreas dapat ditekan. Hal ini berakibat pada peningkatan fungsi sel β dalam menghasilkan insulin yang menyebabkan pada peningkatan kadar insulin. Peningkatan kadar insulin tentu akan memacu pemanfaatan gula darah sehingga gula darah menurun. Kemungkinan mekanisme antosianin terong belanda dalam menurunkan gula darah pada tikus *Sprague Dawley* diabetes tipe 2 non obesitas (induksi STZ-NA) ditampilkan pada Gambar 10. (Puspawati, 2019).



Gambar 10. Mekanisme penurunan gula darah oleh antosianin terong belanda pada tikus *Sprague Dawley* diabetes tipe 2 non obesitas (induksi STZ-NA) (Puspawati , 2019).

Kesimpulan

Terong belanda merupakan buah yang memiliki dua pigmen secara bersama dalam buah yaitu antosianin dan karotenoid, dimana pigmen antosianinnya sangat unik, dengan komposisi yang lebih sedikit mampu memberikan kontribusi warna produk yang lebih dominan dibandingkan pigmen karotenoidnya. Antosianin terong belanda memiliki potensi dalam menurunkan gula darah yang dilihat dari hasil kajian mampu menghambat enzim α -glukosidase secara *in vitro* dan secara *in vivo* pada tikus *Sprague Dawley* diabetes tipe 2 non obesitas (induksi STZ-NA) mampu menurunkan gula darah melalui kemampuan menurunkan resistensi insulin dengan jalan mampu meningkatkan kadar insulin yang

ditunjang pula oleh kemampuan meningkatkan kadar GLUT4, kemudian memperbaiki kerusakan sel β pankreas. Hal ini tentu akan berakibat pada kemampuan meningkatkan kadar insulin yang akhirnya menurunkan kadar gula darah.

Daftar Pustaka

- Asmara Y., Bayu A.K., Adi S.G., Aini F., & Pudjihastuti I. 2013. Rekayasa Proses Pembuatan Serbuk Pewarna Batik Biodegradable Berbahan Antosianin Limbah Kulit Terong Belanda (*Chypomandra betaceae*) dengan Kombinasi Ekstraksi Gelombang Ultrasonik dan Aqua Solvent. In *SNST ke-4* (pp. 17–21). Semarang, Indonesia.
- Sinaga B.C., Imaculata S., & Suter I. 2012. Pengaruh Konsentrasi Asam Sitrat Dan Gula Terhadap Karakteristik Jeli Terung Belanda. *Jurnal Itepa* 1(1):1-10
- Bjelakovi G., Stojanovi I., & Bjelakovi G. B. 2002. Competitive Inhibitors of Enzymes and Thier Therapeutic Application. *J. Med & Biol*, 9(3), 201–206.
- Chemat F., Rombaut N., Sicaire A., Meullemiestre A., & Abert-vian M. 2017. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations , protocols and applications . A review. *J.Ultsionch*, 34, 540–560.
- Chemat S., Aissa A., Boumechhour A., Arous O., & Ait-amar H. 2016. Extraction mechanism of ultrasound assisted extraction and its effect on higher yielding and purity of artemisinin crystals from *Artemesia annua* L. leaves. *J.Ultsionch*, 1–20.
- Espin S., Gonzalez-manzano S., Taco V., Poveda C., Ayuda-durán B., Gonzalez-paramas A. M., & Santos-buelga C. 2016. Phenolic composition and antioxidant capacity of yellow and purple-red Ecuadorian cultivars of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chem*, 194, 1073–1080.
- Fatchurrozak, Suranto, & Sugiyarto. 2013. Pengaruh Ketinggian Tempat terhadap Kandungan Vitamin C dan Zat Antioksidan pada Buah *Carica pubescens* di Dataran Tinggi Dieng. *El-Vivo*, 1(1), 24–31
- Ghosh D., & Konishi T. 2007. Anthocyanins and anthocyanin-rich extracts : role in diabetes and eye function. *Asia Pac J Clin Nutr*, 16(2), 200–208.
- Giusti M.M., & Wrolstad R. E. 2001. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV - Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Anal Chem*, F1.2.1-F1.2.13.
- Giusti M.M., & Wrolstad R.E. 2003. Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. *J Biochem Eng*, 14, 217–225.
- He F., Mu L., Yan G.L., Liang N.N., Pan Q. H., Wang J., & Duan A.Q. 2010. Biosynthesis

- of Anthocyanins and Their Regulation in Colored Grapes. *Molecules*, *15*, 9057–9091.
- Survey 2003-2004. *Nutr Res*, *34*(4), 285–293.
- Horbowicz M., Kosson R., Grzesiuk A., & Debski H. 2008. Anthocyanins of Fruits and Vegetables-Their Occurrence, Analysis and Role in Human Nutrition. *Vegetable Crops Res Bulletin*, *68*, 5–22.
- Hurtado N.H., Morales A.L., González-miret M.L., Escudero-gilete M.L., & Heredia F.J. 2009. Colour , pH stability and antioxidant activity of anthocyanin rutinosides isolated from tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chem*, *117*(1), 88–93.
- IDF. 2017. *Eighth edition 2017*.
- Kadir N. A. A. A., Rahmat A., & Jaafar H.Z. 2015. Protective Effects of Tamarillo (*Cyphomandra betacea*) Extract against High Fat Diet Induced Obesity in Sprague-Dawley Rats. *J Obes*, 1–8.
- Kaku, K. (2010). Pathophysiology of Type 2 Diabetes and. *Res Rev*, *138*(1), 41–46
- Khanh N. D. 2015. Advances in the extraction of anthocyanin from vegetables. *J. Food Nutr Sci*, *3*(1–2), 126–134.
- Kowalczyk E., Krzesiński P., Kura M., Szmigiel B., & Baszczyk J. 2003. Anthocyanins in Medicine. *Pol J Pharmacol*, *55*, 699–702.
- Lister C.E., Morrison,S.C., Kerkhofs N. S., & Wright K.M. 2005. *The nutritional composition and health benefits of New Zealand tamarillos*. New Zealand.
- Markovic J.M. D., Pejin B., Milenkovic D., Amic D., Begovic N., Mojovic M., & Markovic, Z.S. 2017. Antiradical activity of delphinidin , pelargonidin and malvin towards hydroxyl and nitric oxide radicals: The energy requirements calculations as a prediction of the possible antiradical mechanisms. *Food Chem*, *218*, 440–446.
- Medina-torres N., Ayora-talavera T., Espinosa-andrews H., Sanchez-Contreras A., & Pacheco N. 2017. Ultrasound Assisted Extraction for the Recovery of Phenolic Compounds from Vegetable Sources. *Agronomy*, *7*(47), 1–19.
- Merentek E. 2006. Resistensi Insulin Pada Diabetes Melitus Tipe 2. *Cermin Dunia Kedokteran*, (150), 38–41.
- Mertz C., Brat P., Caris-veyrat C., & Gunata Z. 2010. Characterization and thermal lability of carotenoids and vitamin C of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav .). *Food Chem*, *119*(2), 653–659.
- Mertz C., Gancel A., Gunata Z., Alter P., Dhuique-mayer C., Vaillant,F., & Rica,C. 2009. Phenolic compounds , carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. *J*

Food Compos & Anal, 22, 381–387.

- Molyneux P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicryl- hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 26(2), 212–219.
- Mutalib M. A., Rahmat A., Ali F., Othman F., & Ramasamy R. 2017. Nutritional Compositions and Antiproliferative Activities of Different Solvent Fractions from Ethanol Extract of Cypho Nutritional Compositions and Antiproliferative Activities of Different Solvent Fractions from Ethanol Extract of Cyphomandra betace. *Malays J. Med Sci*, 24(5), 19–32.
- Oancea S., & Oprean L. 2011. Anthocyanin, from Biosynthesis in Plant to Human Health Benefits. *Acta Univ Cibiniensis Food Technol*, XV(1), 7–9
- Osorio C., Hurtado N., Dawid ,C., Hofmann T., Heredia-mira F. J., & Lucía A. 2012. Chemical characterisation of anthocyanins in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) and Andes berry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits. *Food Chem*, 132(4), 1915–1921.
- Pingret D., Fabiano-Tixier A.S., & Chemat F. 2013. Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. *Food Control*, 31(2), 593–606.
- Puspawati G.A.K.D., Marsono Y., & Supriyadi. 2018. Comparison of sonication with maceration on antioxidant potency of anthocyanin and carotenoid of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). *Jurnal Agritech* 38(3):304-312
- Puspawati G.A.K.D., Marsono Y., & Supriyadi. 2018. Inhibitor potency of indonesian tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) crude extract against α -glucosidase enzyim activity. *Curr Res Nutr Food Sci Jour* 6 (2):392-403
- Puspawati G.A.K.D. 2019. Potensi ekstrak etanol dan ekstrak aseton tamarillo (*Solanum betaceum* cav.) Sebagai penurun gula darah pada tikus *Sprague Dawley*. Disertasi. Pascasarjana S3 Ilmu Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Puspawati G.A.K.D., Ina P.T., & Ekawati G.A. 2019. Proses pembuatan ekstrak pewarna alami bubuk dari selaput lendir Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). Paten. Kementrian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, Jakarta
- Puspawati G.A.K.D., Marsono Y., & Supriyadi. 2020. Decreasing of oxidative stress of red tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) extract in STZ-NA induced diabetic rat. Prosseding internasional, . SciTePress, Science and Technology Publica_ons, Lda
- Rahimi R., Nikfar S., Larijani B., & Abdollahi M. 2005. A review on the role of antioxidants in the management of diabetes and its complications. *J Biomed Phamacotherap*, 59,

365–373.

- Rodrigues S., Fernandes F. A. N., Sousa E., Brito D., Dutra A., & Narain N. 2015. Ultrasound extraction of phenolics and anthocyanins from jabuticaba peel. *Industrial Crops & Products*, 69, 400–407.
- Sancho R. A. S., & Pastore G. M. 2012. Evaluation of the effects of anthocyanins in type 2 diabetes. *Food Res Inter*, 46(1), 378–386.
- Santos L. E.O., Zarate L.X.P., & Salcedo L.O.G. 2015. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total carotenoids from peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) by-products with sunflower oil using response surface methodology. *J. Ultsonc*, 1–8.
- Sayuti M. 2017. Pengaruh Perbedaan Metode Ekstraksi , Bagian Dan Jenis Pelarut Terhadap Rendemen Dan Aktifitas Antioksidan Bambu Laut (*Isis Hippuris*). *Tecnol Sci & Eng J*, 1(3), 166–174.
- Tatar M., Qujeq D., Feizi F., Parsian H., Sohan Faraji A., Halalkhor S., & Seyfizadeh N. 2012. Effects of Teucrium Polium Aerial Parts extract on oral glucose tolerance tests and pancreas histopathology in Streptozocin-induced diabetic rats. *Int J Mol Cell Med Winter*, 1(1), 44–9.
- Tampinongkol N.C., Nocianitri K.A., & Ekawati G.A. 2020. Pengaruh konsentrasi sukrosa terhadap karakteristik minuman probiotik sari buah terung belanda terfermentasi dengan lactobacillus rhamnosus skg34. *Jurnal Itepa* 9 (3):251-261
- Takikawa M., Inoue S., Horio F., & Tsuda,T. 2010. Dietary Anthocyanin-Rich Bilberry Extract Ameliorates Hyperglycemia and Insulin Sensitivity via Activation of AMP-Activated Protein Kinase in Diabetic Mice. *J Nutr*, 527–533.
- WHO. 2013. Diagnostic Criteria and Classification of Hyperglycaemia First Detected in Pregnancy. *Word Health Organization*, 1–62.

Chapter 6

APLIKASI PENGGUNAAN ADSORBEN KARBON AKTIF BAMBU PETUNG PADA PROSES DEHIDRASI ETANOL

I Putu Surya Wirawan

APLIKASI PENGGUNAAN ADSORBEN KARBON AKTIF BAMBU PETUNG PADA PROSES DEHIDRASI ETANOL

I Putu Surya Wirawan

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana,
Badung-Bali

Email: suryawirawan@unud.ac.id

Pendahuluan

Bambu merupakan tanaman dengan pertumbuhan cepat dan memiliki kelebihan mudah dibentuk (Dransfield dan Widjaja 1995). Kelebihan lain yang dimiliki oleh bambu adalah ketersediannya berlimpah sehingga memungkinkan dilakukan produksi produk berbahan bambu secara masal dan kontinu. Tercatat Indonesia mampu memproduksi bambu hingga 9.694.131 batang pada tahun 2015 dan meningkat 12.060.632 batang pada tahun 2016 (BPS 2016). Jenis bambu di Indonesia terdiri dari 161 jenis bambu dimana 126 jenis diantaranya merupakan jenis asli Indonesia. Hal tersebut merupakan 15.5% dari total spesies bambu dunia (Widjaja *et al.* 2014). Bambu tumbuh di seluruh daerah Indonesia baik secara liar maupun budidaya. Namun masih sedikit pengetahuan terhadap keunggulan, kelimpahan, kelemahan bahkan potensi jenis-jenis bambu tersebut. Kegunaan bambu secara umum digunakan sebagai alat rumah tangga, alat musik, maupun komponen bangunan. Biomassa bambu sudah banyak digunakan terutama sebagai bahan bakar untuk rumah tangga dan peleburan besi di masa lalu (Nurhayati 1990).

Penelitian tentang nilai tambah produk bambu sudah banyak dilakukan. Hal tersebut mampu menjamin pendapatan pertanian sebagai salah satu kunci penting bagi membangun industri bambu yang dapat mendorong partisipasi produk lokal (Maulana *et al.* 2017 dan Febrianto *et al.* 2015). Kandungan selulosa pada bambu cukup tinggi, sekitar 42,4-53,6%. Adapun kandungan senyawa lainnya adalah lignin, 19.8-26.6%, pentosan 1.24-3.77% dan kadar abu 1,24-3,77%, kadar silika 0,10-1,78%, kelarutan air dingin 4,5-9,9%, kelarutan air panas 5,3-11,8%, kelarutan alkohol benzena 0,9-6,9% (Krisdianto *et al.* 2007). Perbandingan kandungan selulosa pada 10 jenis bambu yang dilakukan oleh Krisdianto *et al.* (2007) seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 4 Kandungan selulosa yang terdapat pada 10 jenis bambu

No	Jenis bambu	Selulosa %
1	Bambu Madake (<i>Phyllostachys reticulata</i>)	48,3
2	Bambu Petung (<i>Dendrocalamus asper</i>)	52,9
3	Bambu Apus (<i>Gigantochloa apus</i>)	52,1
4	Bambu Batu (<i>Gigantochloa nigrociliata</i>)	52,2
5	Bambu Peting (<i>Gigantochloa verticillata</i>)	49,5
6	Bambu Ampel (<i>Bambusa vulgaris</i>)	45,3
7	Bambu Bambos (<i>Bambusa bambos</i>)	50,8
8	Bambu Kyathaung (<i>Bambusa polymorpha</i>)	53,8
9	Bambu tinwa (<i>Chephalostachyum pergraciles</i>)	48,7
10	<i>Melocanna bambusoides</i>	42,4

Sumber : Krisdianto *et al.* (2007)

Melihat potensi Bambu yang sangat potensial ini dan penggunaan bahan bakar fosil telah banyak memberikan dampak yang kurang baik terhadap lingkungan, maka perlu dicari sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca di udara. Bahan baku berbagai sumber energi alternatif yang tersedia, bioetanol merupakan salah satu pilihan yang tepat karena di samping dapat menurunkan emisi gas rumah kaca, juga bersifat *renewable* (Khaidir *et al.*, 2009). Penggunaan bioetanol sebagai campuran bensin tidak menimbulkan masalah baik pada mesin kendaraan maupun pada penerimaan konsumen, kecuali pada kasus di Jerman dimana konsumen mengharapkan pelabelan yang lebih baik pada produksi campuran bensin dan etanol (Spiegel, 2011). Di Indonesia peraturan yang berkaitan dengan penggunaan bioetanol sebagai campuran bensin menetapkan 1% bioetanol murni wajib dicampurkan pada bahan bakar bersubsidi dan 2% bioetanol pada bahan bakar non subsidi mulai bulan April 2015 dan nantinya akan ditingkatkan hingga mencapai 20% pada tahun 2025 (Peraturan Menteri ESDM No 20 tahun 2014). Salah satu upaya untuk meningkatkan keamanan energi nasional jangka panjang adalah melalui pengurangan ketergantungan terhadap energi

fosil yang tidak terbarukan, khususnya minyak dan gas bumi dengan mensubstitusinya ke sumber energi baru dan terbarukan khususnya bahan bakar nabati.

Bioetanol merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang diperoleh dari proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat yang menggunakan bantuan mikroorganisme. Bioetanol merupakan sumber energi dengan prospek yang cukup baik sebagai pengganti bahan bakar cair yang bahan bakunya dapat diperbarui, ramah terhadap lingkungan dan sangat menguntungkan dari segi ekonomi makro pada daerah pedesaan khususnya bagi petani. Produksi bioetanol umumnya menggunakan bahan baku berbasis gula, pati, lignoselulosa atau limbah biomassa (Lin dan Tanaka, 2006). Menurut data statistik Kementerian Energi dan Sumber Daya mineral (2018), di Indonesia konsumsi energi terutama bahan bakar minyak dari tahun ketahun terus meningkat. Data tahun 2018 menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar minyak (BBM) sepanjang tahun 2018 sebesar 75 juta kilo liter. Jumlah itu dibagi menjadi jenis BBM tertentu (JBT) sekitar 16,2 juta KL untuk solar dan minyak tanah, jenis BBM khusus penugasan (JBKP), dan jenis BBM umum (premium, pertalite, pertamax) sekitar 51,3 juta KL. Melihat konsumsi BBM kian meningkat sedangkan energi berbahan dasar fosil tidak dapat diperbaharui maka diperlukan alternatif penstubtitusi BBM dengan energi terbarukan sebagai solusi penggantinya.

Salah satu bahan dasar energi terbarukan yang kini banyak dilakukan penelitian adalah bioetanol. Teknik dehidrasi bioetanol sudah berkembang sangat pesat. Teknik dehidrasi bioetanol biasanya dilakukan dengan beberapa cara yaitu distilasi, pervorasi membran dan adsorpsi. Teknologi dehidrasi masih terus dikembangkan untuk mendapatkan suatu teknologi permurnian yang efisien dan mudah untuk dilakukan. Teknik dehidrasi dengan cara adsorpsi merupakan salah satu teknik dehidrasi yang sangat mudah dilakukan dimana bahan baku adsorbennya sangat mudah diperoleh. Bahan adsorben yang biasanya digunakan dalam dehidrasi bioetanol adalah zeolit, pasir silika, material pati dan karbon aktif (Novitasari dan Kusumaningrum 2012; Khaidir *et al.* 2012). Proses destilasi hanya mampu menghasilkan etanol dengan persentase 95% yang dinamakan campuran azeotropik. Secara teoritis kita tidak akan bisa mendapatkan bioetanol murni dengan kadar lebih besar dari 97,2% melalui proses destilasi (Onuki, 2006). Etanol dengan kadar lebih besar dari 99%, dapat dilakukan melalui dehidrasi (Nurdyastuti, 2005).

Dehidrasi alkohol telah banyak dilakukan dengan berbagai macam dehidrator antara lain dehidrasin-alkohol dengan katalis analsim, dehidrasi etanol dengan Zeolit alam yang sudah di dealuminasi, dehidrasin-butanol dengan alumina aktif (Hertzengerg *et al.*, 1991), dehidrasin-

amil alkohol dengan dehidrator karbon aktif yang diinterkalasi tembaga (Cu), dehidrasi isomamil alkohol dengan H₂SO₄ dan kajian termodinamika dehidrasin-butanol (Sun 1983). Campuran azeotropik tersebut dapat dipisahkan melalui beberapa metode yang telah umum dikenal, diantaranya destilasi azeotropik, dehidrasi melalui adsorpsi dan penyaring molekular (*molecular sieve*). Beberapa keuntungan menggunakan *molecular sieve* pada dehidrasi etanol antara lain (1) Proses yang sangat sederhana, sehingga mudah diotomatisasi, (2) Proses *inert*, karena tidak menggunakan bahan kimia tambahan yang memerlukan penanganan tertentu yang mungkin dapat membahayakan para pekerja, (3) *Molecular sieve* dapat dengan mudah memproses etanol yang mengandung kontaminan dan dapat juga digunakan untuk dehidrasi bahan-bahan kimia lainnya, (4) Memiliki umur simpan yang lama (lebih dari 5 tahun), dan (5) Dapat diatur sebagai sistem yang berdiri sendiri atau terintegrasi dengan sistem destilasi. Mathewson (1980) menyatakan bahwa untuk memperoleh etanol absolut dari etanol 96% menggunakan bahan adsorben sintetis berbentuk pelet yang dapat secara selektif mengikat molekul air. Selain murah harganya, metode ini tidak meninggalkan residu pada etanol yang diperoleh dan adsorben telah terpakai, dapat dipakai kembali setelah dikeringkan pada suhu tertentu. Struktur pori suatu adsorben sangat dipengaruhi oleh parameter seperti katalis, waktu aktivasi, suhu aktivasi, dan ukuran partikel. Metode optimasi luas permukaan karbon telah banyak dilakukan untuk mendapatkan parameter terbaik dalam produksi karbon aktif (Tan *et al.*, 2008).

Karakteristik adsorben sangat menentukan dalam dehidrasi bioetanol (Gil *et al.*, 2008 dan Mui *et al.*, 2010). Salah satu karakteristik adsorben yang sangat mempengaruhi dalam dehidrasi yaitu luas permukaan spesifik adsorben. Semakin besar luas permukaan adsorben semakin baik. Struktur pori juga menentukan daya serap adsorben. Semakin banyak pori pada area *micropore* dan *mesopore* kemampuan daya serap adsorben semakin baik (Barbe *et al.* 2014 dan Wirawan *et al.*, 2018). Unsur-unsur yang terdapat pada adsorben juga mempengaruhi karakteristik adsorben. Adsorben bisa bersifat hidropobik dan hidrofilik tergantung komponen unsur yang ada di dalamnya. Sebagai salah satu contoh adsorben zeolit yang memiliki kandungan unsur Si yang cukup tinggi sehingga adsorben bersifat hidropobik sebaliknya apabila kandungan unsur Si dalam zeolit dengan presentase yang rendah maka adsorben zeolit bersifat hidrofilik (Novitasari dan Kusumaningrum, 2012). Penelitian ini menggunakan adsorben dari bambu petung dengan ukuran 80 dan 200 mesh yang telah teraktivasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dehidrasi etanol pada kolom adsorpsi dengan karbon aktif bambu petung sebagai adsorben untuk mendapatkan konsentrasi *fuel grade etanol*

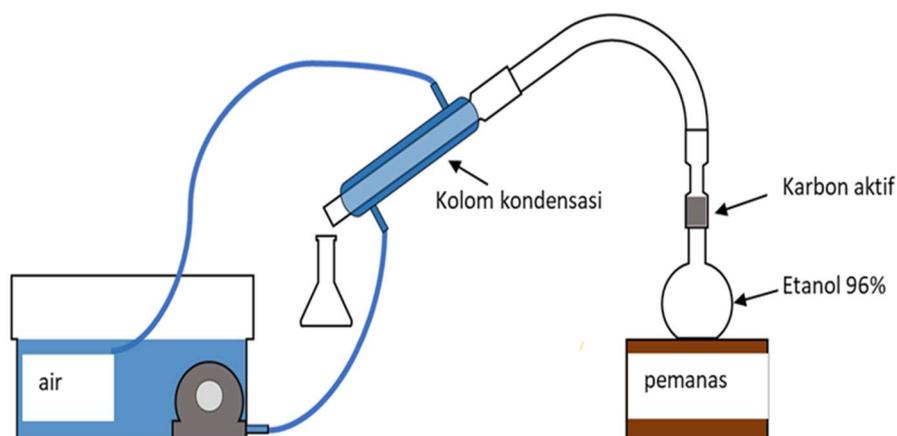
(99,5%). Hasil dari proses adsorpsi diharapkan menjadi salah satu solusi bahan baku energi terbarukan pengganti bahan bakar minyak yang bersumber dari bahan fosil yang tidak dapat diperbaharui.

Metode

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah adsorben bambu petung dengan ukuran 80 mesh, 200 mesh dan etanol 96%. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah apparatus uji dehidrasi etanol, pompa airasi, gelas ukur, tabung erlenmeyer 50 ml, pemanas, thermometer air raksa, thermometer digital, *stop watch* dan timbangan. Alat uji yang digunakan dalam pengukuran konsentrasi etanol setelah dehidrasi adalah *Gas Chromatograph Clarus 680*.

a. Persiapan Apparatus Uji

Apparatus uji dibuat dari tabung kaca kuarsa yang tahan terhadap suhu tinggi. Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan kalibrasi alat pemanas yang digunakan untuk menentukan kondisi suhu yang diinginkan dalam menguapkan etanol. Kisaran suhu untuk menguapkan etanol pada tangki umpan adalah 78°C-80°C. Kolom kondensasi yang dilengkapi pompa airasi bertujuan untuk menjaga suhu kolom kondensasi berkisar 28-30°C dengan tujuan saat uap etanol yang melewati saringan molekul yang terbuat dari karbon aktif bambu petung lebih cepat terkondensasi menuju tangki penampung. Gambar skema apparatus uji yang digunakan dalam penelitian ini disajikan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema apparatus uji dehidrasi etanol

b. Persiapan Adsorben Bambu dan Bahan Etanol Umpan

Adsorben sebelum digunakan dalam dehidrasi terlebih dahulu dipanaskan dengan oven pada suhu 110°C. Hal ini dilakukan untuk menguapkan kandungan air yang terdapat pada adsorben. Selanjutnya adsorben yang berukuran 80 dan 200 mesh ditimbang masing-masing sebanyak 3 gram. Etanol 96% dimasukkan ke dalam tangki umpan sebanyak 10 ml. Adsorben dimasukan ke dalam kolom adsorben yang terlebih dahulu diberikan saringan 350 mesh agar adsorben tidak jatuh pada tabung umpan. Dehidrasi dilakukan sampai adsorben tidak mampu lagi menyerap air dalam proses penguapan etanol 96% pada tangki umpan. Hasil dehidrasi di tampung pada gelas ukur untuk mengetahui jumlah volume etanol.

Kapasitas adsorpsi karbon aktif bambu petung (q) setelah dilakukan dehidrasi dihitung dengan persamaan yang mengacu pada Geankoplis (2006) sebagai berikut :

$$q = \frac{(C_o - C)V\rho}{w} \quad (1)$$

dimana, C_o adalah konsentrasi awal air dalam larutan (fraksi volume), C adalah konsentrasi kesetimbangan air dalam larutan setelah adsorpsi (fraksi volume), V adalah volume larutan (cm^3), ρ adalah densitas air (g/cm^3) dan w merupakan massa karbon (g). Efisiensi kehilangan air, η (%) dalam dehidrasi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta (\%) = \frac{(C_o - C)}{C_o} \times 100 \quad (2)$$

Pemisahan etanol air pada dehidrasi dalam penelitian ini yang diharapkan mampu lebih banyak molekul air yang diserap dalam pori-pori adsorben sehingga jumlah molekul-molekul etanol lebih banyak yang melewati saringan molekul menuju kolom kondensasi dan konsentrasi etanol lebih tinggi. Selektivitas adsorpsi dihitung dengan persamaan berikut :

$$\alpha_{AB} = \frac{X_A Y_B}{X_B Y_A} \quad (3)$$

dimana, X_A adalah fraksi mol komponen A di dalam fase teradsorpsi, X_B adalah fraksi mol komponen B dalam fase teradsorpsi, Y_A adalah fraksi mol komponen A dalam fase fluida, dan Y_B adalah fraksi mol komponen B dalam fase fluida. Persamaan 18 ini dapat digunakan untuk menghitung selektivitas adsorpsi air ke etanol begitu pula sebaliknya (Anozie *et al.* 2010).

c. Kolom Adsorben pada Apparatus Uji

Apparatus uji dibuat dari tabung kaca kuarsa yang tahan terhadap suhu tinggi. Kolom adsorben merupakan tempat menampung adsorben yang berfungsi sebagai saringan molekuler (*moleculer sieve*). Saringan molekuler ini bertujuan untuk menyerap air pada dehidrasi etanol.

Suhu yang digunakan pada saat dehidrasi pada tangki umpan dijaga pada kisaran 78-80°C. Pengamatan yang dilakukan meliputi kinerja aparatus uji, volume etanol dan konsentrasi etanol setelah dilakukan dehidrasi. Kalibrasi suhu pada tangki umpan, menggunakan termometer air raksa dan termometer digital.

Komponen apparatus uji adalah komponen yang terkait langsung dengan dehidrasi etanol yaitu tangki umpan, kolom adsorben dan kolom kondensasi sedangkan peralatan penunjang meliputi pemanas, wadah penampung hasil dehidrasi dan pompa airasi untuk sirkulasi pendingin di kolom kondensasi. Kolom adsorben pada penelitian ini juga dilakukan *scale up* ukuran kolom untuk mengetahui kapasitas adsorpsi, efisiensi adsorpsi dan perubahan konsentrasi etanol pada waktu dehidrasi berjalan sampai adsorben karbon aktif bambu petung yang digunakan mengalami titik jenuh. Hal ini dilakukan hanya pada adsorben yang berukuran 200 mesh. Spesifikasi apparatus uji yang dirancang seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi apparatus uji dehidrasi etanol

No	Nama Komponen	Dimensi
1	Tangki umpan	100 ml
2	Water bath	15 cm x 20 cm
3	Kolom adsorben	7 cm x 2.5 cm
4	Kolom adsorben (<i>scale up</i>)	24 cm x 10 cm
5	Kolom kondensasi	25 cm x 3.75 cm
6	Tangki penampung produk	100 ml dan 1000 ml
7	Sumber pemanas (heater)	-
8	Pompa airasi	-
9	Saringan 350 mesh	-

d. Pengukuran Konsentrasi Etanol

Pengukuran konsentrasi etanol hasil dehidrasi dilakukan pada alat uji *Gas Chromatograph Clarus 680*. Jumlah sampel yang diuji sebanyak 1 ml dari hasil dehidrasi masing-masing adsorben yang digunakan. Hasil dehidrasi berupa plot area yang diperoleh dari hubungan antara waktu (menit) dengan respon (μV) yang nantinya dikonversi menjadi konsentrasi (% v/v).

Dehidrasi Etanol dengan Karbon Aktif Bambu Petung

Dehidrasi etanol dengan metode adsorpsi menggunakan teknologi kolom dan adsorben karbon aktif bambu petung untuk menyerap air dari campuran etanol-air 96% prosesnya sederhana untuk dilakukan. Jumlah etanol setelah dehidrasi etanol dilakukan pada apparatus uji disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Jumlah etanol hasil dehidrasi dengan adsorben karbon aktif bambu petung

Ukuran adsorben (mesh)	Berat adsorben (g)	Jumlah etanol	
		umpan (ml)	Jumlah etanol setelah adsorpsi (ml)
80	3	10	2,5
200	3	10	3,5
200 (scale up)	100	1000	275

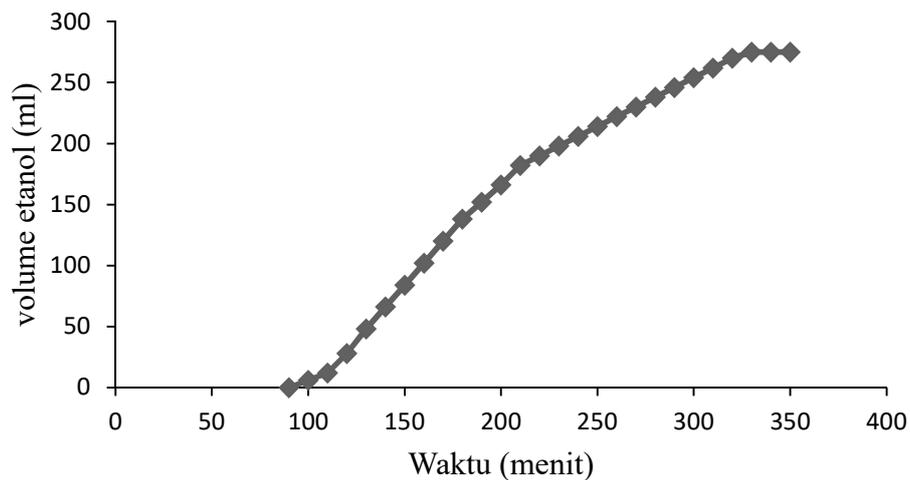
Umpan etanol 96% yang masih tersisa dalam tangki umpan setelah dehidrasi etanol untuk ukuran adsorben 80 dan 200 mesh masing-masing adalah 4 ml dan 2 ml. Hal ini menunjukkan bahwa luas permukaan adsorben mempengaruhi jumlah etanol air yang terserap pada masing-masing adsorben. Perbedaan jumlah etanol yang dihasilkan dalam dehidrasi pada kedua ukuran adsorben yang digunakan pada dehidrasi etanol dipengaruhi oleh kondisi jenuh kedua adsorben saat dehidrasi berlangsung. Waktu yang dibutuhkan untuk memurnikan etanol setelah proses adsorpsi dan distilasi untuk adsorben berukuran 80 dan 200 mesh masing-masing adalah 30 menit dan 50 menit. Kapasitas adsorpsi karbon aktif dan efisiensi kehilangan air dalam dehidrasi etanol yang dilakukan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 4. Bahan karbon aktif yang direkomendasikan untuk dehidrasi etanol adalah ukuran 200 mesh dimana efisiensi adsorpsi mencapai 94,50% dengan jumlah adsorben 100 gram pada kolom. Perbedaan lama waktu dehidrasi dipengaruhi oleh struktur pori kedua adsorben dimana jumlah pori yang berukuran *micropore* dan *mesopore* pada adsorben yang berukuran 200 mesh lebih banyak.

Tabel 4. Kapasitas dan efisiensi adsorpsi karbon aktif bambu

Ukuran adsorben (mesh)	Berat adsorben (g)	Kapasitas adsorpsi (g/g)	Efisiensi adsorpsi (η) (%)	Selektivitas adsorpsi α_{AB}
80	3	0,08	58	2,4
200	3	0,12	91,25	11,86
200(scale up)	100	0,38	94,50	11,86

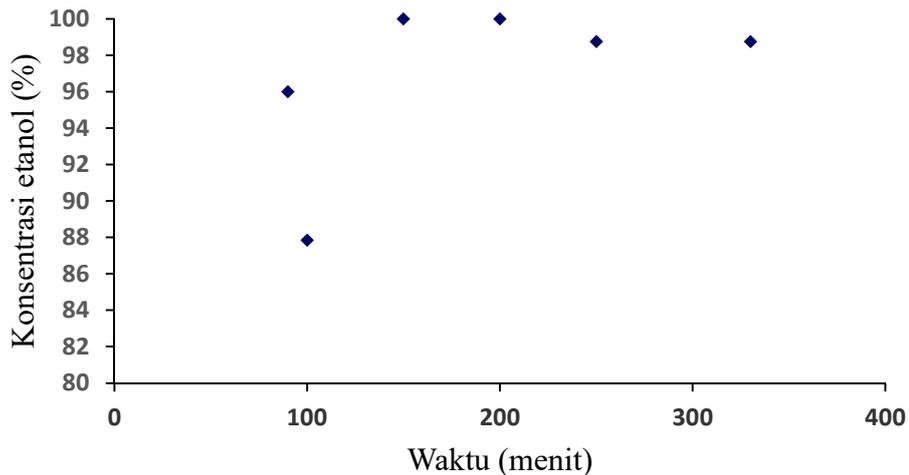
Nilai selektivitas adsorpsi yang ditunjukkan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa daya serap adsorben dengan ukuran 200 mesh menyerap air lebih banyak daripada ukuran adsorben 80 mesh. Hal ini sesuai dengan penelitian Anozie (2010), menyatakan bahwa selektivitas adsorpsi air ke etanol semakin meningkat pada dehidrasi campuran etanol-air dengan konsentrasi air yang rendah pada campuran etanol-air. Karakteristik struktur pori juga mempengaruhi daya serap adsorben ke adsorbat (Gil *et al.* 2008).

Konsentrasi etanol hasil dehidrasi diperoleh dari nilai *area of detectioan peak* pada masing-masing adsorben yang digunakan. Konsentrasi etanol yang diperoleh setelah dehidrasi masing-masing adalah 98,32% dan 99,65% pada ukuran adsorben 80 mesh dan 200 mesh. Hasil pengujian dehidrasi etanol pada kolom yang *scale up* menggunakan adsorben yang berukuran 200 mesh mencapai konsentrasi etanol 100% pada kisaran waktu 150-200 menit. Dehidrasi etanol berlangsung selama 330 menit seperti yang disajikan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Hubungan waktu yang dibutuhkan dengan jumlah volume yang dihasilkan pada dehidrasi etanol

Gambar 2 menunjukkan bahwa adsorben yang digunakan pada menit ke-330 sudah mengalami titik jenuh sehingga volume etanol tidak mengalami penambahan pada tangki penampung. Dehidrasi etanol yang dilakukan untuk memurnikan etanol 96% membuktikan bahwa ukuran partikel adsorben mempengaruhi konsentrasi etanol yang dihasilkan. Hasil dehidrasi juga menunjukkan bahwa dengan menggunakan adsorben bambu petung dengan ukuran partikel 200 mesh mampu menghasilkan konsentrasi etanol 99,65%. Hal ini sesuai dengan penelitian Gozan *et al.* (2017) dimana dehidrasi etanol menggunakan zeolit sebagai adsorben mampu memurnikan etanol sampai 99,69%. Pada penelitian ini setelah dilakukan *scale up* kolom adsorben dengan kapasitas adsorben 100 gram, konsentrasi etanol mampu mencapai 100% dengan perbandingan adsorben-etanol 1:10 seperti yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan waktu yang dibutuhkan dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan pada dehidrasi etanol

Penurunan konsentrasi pada tahap awal di menit ke 100 diduga udara sekitar yang diserap saat pemasukan karbon aktif ke dalam kolom adsorpsi mengandung uap air. Hal ini menyebabkan pada awal dehidrasi, konsentrasi etanol menurun. Selanjutnya konsentrasi etanol meningkat sampai 100% setelah menit ke-100 sampai menit ke-200. Penurunan konsentrasi setelah menit ke 200 sampai menit ke-330 menjadi 98,76%. Hal ini diduga adsorben sudah mengalami titik jenuh sehingga molekul air yang terikat dengan lemah mengalami penguapan dan bercampur kembali dengan etanol. Hasil dehidrasi yang diperoleh memenuhi syarat minimum *Fuel Grade Ethanol* (FGE) yaitu 99,5% sebagai salah satu solusi bahan bakar pengganti bahan bakar minyak khususnya bensin. Hasil penelitian ini dilihat dari konsentrasi etanol yang dihasilkan lebih tinggi dari penelitian Novitasari dan Kusumaningrum (2012) dengan bahan adsorben yang digunakan berbeda yaitu zeolit 4A dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan 98,42%. Kapasitas adsorpsi pada penelitian ini mencapai 0,12-0,38 g/g. Hal ini menunjukkan adsorben dengan ukuran 200 mesh memiliki daya serap terhadap molekul air lebih tinggi daripada ukuran adsorben karbon aktif bambu petung 80 mesh dengan kapasitas adsorpsi 0,08 g/g.

Kesimpulan

Adsorben karbon aktif bambu petung dengan ukuran partikel 80 mesh dan 200 mesh mampu memurnikan etanol dari konsentrasi awal 96% masing-masing menjadi 98,32% dan 99,65%. *Scale up* kolom adsorben dengan ukuran karbon aktif bambu petung 200 mesh mampu mencapai konsentrasi etanol 100% dengan efisiensi 94,5%.

Daftar pustaka

- Anozie Okuhon E.E., Osulale F.N., & Adewole J.K. 2010. Dehydration of ethanol-water mixture using activated carbons from sawdust and palm kernel shells. *Journal Separation Science and Technology*. 45: 1482–1489.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2016. Statistik produksi kehutanan 2016. BPS Katalog 5601005: 51-53.
- Dransfield S., & Widjaja E.A. 1995. *Plant resources of south-east asia bamboos*. Backhuys Publishers, Leiden. 189 pp.
- Geankoplis C.J. 2006. *Transport processes and separation process principles*. 4th Ed. Prentice Hall of India: New Delhi.
- Gil A.D., Uyazán A.M., Aguilar J.L., Rodríguez G., & Caicedo L.A. 2008. Separation of ethanol and water by extractive distillation with salt and solvent as entrainer: process simulation. *Journal of Chemical Engineering*. 25 (1):207-215.
- Gozan M., Mia S.S., & Kenny L. 2017. Dehydration simulation with vapor permeation and distillation-adsorption in bioethanol plant. *Journal Makara Technol*. 21(1):43-48
- Hertzenberg E.P, Murray B.D, Pasquale G.M, dan Winquist B.H.C. 1991. Process for dealumination and ion exchange of zeolites. U.S. Patent. Number 5.057.472.
- Krisdianto G., Sumarni, & Ismanto A. 2007. *Sari hasil penelitian bambu*. Departemen Kehutanan Republik Indonesia. Diakses 5 Mei 2019.
- Lin Y., & Tanaka S. 2006. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Appl Microbiol Biotechnol*. 69(6): 627-42
- Mathewson S.W. 1980. *Drying the alcohol in: the manual for the home and farm production of alcohol fuel*. Chapter 12. California: Ten speed press.
- Maulana S., Busyra I., Fatrawana A., Hidayat W., Sari R.K, Sumardi I., Wistara I.N.J, Lee S.H., Kim N.H., & Febrianto F. 2017. Effects of steam treatment on physical and mechanical properties of bamboo oriented strand board. *Journal of The Korean Wood Science and Technology*. 45(6): 872-882.
- Novitasari D., & Kusumaningrum D. 2012. Dehydration of bioethanol using adsorption process and adsorption distillation using zeolite adsorbent. *Journal of Chemistry and Industry*. 1(1):11-19.
- Nurhayati T. 1990. Charcoal manufacture test of 4 bamboo species by pit method. *Journal of Forest Product Research* 6(8): 500-503.

- Sun H.N. 1983. Two step process for preparation of zeolite a by hydrothermal treatment of clinoptilolite. U.S. Patent. Number 4.401.634.
- Sun J., Brady T.A., Rood M.J., & Lehmann C.M. 1997. Adsorbed natural gas storage with activated carbons made from illinois coals and scrap tires. *Journal Energy & Fuels*. 11: 316-322
- Tamai H., Kouzu M., & Yasuda H. 2002. Preparation of highly mesoporous and high surface area activated carbons from vinylidene chloride copolymer containing yttrium acetylacetonate. *Journal Carbon*. 41 : 1645–1657.
- Tamai H., Kunihiro M., & Yasuda H. 2004. Adsorption of tetraalkylammonium ions on microporous and mesoporous activated carbons prepared from vinylidene chloride copolymer. *Journal of Colloid and Interface Science* 275 (2004): 44–47.
- Tan I.A.W, Ahmad A.L., & Hameed B.H. 2008. Optimization of preparation conditions for activated carbons from coconut husk using response surface methodology. *Journal Chemical Engineering*, 137:462–470.
- Widjaja E.A., Artiningsih, Irawati, Noerdjito, Amir, Pudjiastuti, & Aswari. 1994. Sepuluh tahun penelitian bambu di puslitbang biologi. Yayasan Bambu Lingkungan Lestari. Bogor.
- Widjaja E.A., Rahayuningsih Y., Ubaidillah R., Maryanto, & Rahajoe J.S. 2014. *Kekinian keanekaragaman hayati indonesia*. LIPI Press. Jakarta
- Wirawan I.P.S, Sutrisno, Seminar K.B., & Nelwan L.O. 2018. Characteristics of microactive carbon from bamboo var. petung as adsorbent. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. 147(1):012028