

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 7, No. 2, Agustus 2019



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam *invited paper* yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, *review* perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, *technical paper* hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta *research methodology* berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Dewan Redaksi:

Ketua : Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, IPB University)
Anggota : Abdul Hamid Adom (Scopus ID: 6506600412, University Malaysia Perlis)
(*editorial board*) Addy Wahyudie (Scopus ID: 35306119500, United Arab Emirates University)
Budi Indra Setiawan (Scopus ID: 55574122266, IPB University)
Balasuriya M.S. Jinendra (Scopus ID: 30467710700, University of Ruhuna)
Bambang Purwantana (Scopus ID: 6506901423, Universitas Gadjah Mada)
Bambang Susilo (Scopus ID: 54418036400, Universitas Brawijaya)
Daniel Saputera (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya)
Han Shuqing (Scopus ID: 55039915600, China Agricultural University)
Hiroshi Shimizu (Scopus ID: 7404366016, Kyoto University)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana)
Agus Arif Munawar (Scopus ID: 56515099300, Universitas Syahkuala)
Armansyah H. Tambunan (Scopus ID: 57196349366, IPB University)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, IPB University)
M. Rahman (Scopus ID: 7404134933, Bangladesh Agricultural University)
Machmud Achmad (Scopus ID: 57191342583, Universitas Hasanuddin)
Muhammad Makky (Scopus ID: 55630259900, Universitas Andalas)
Muhammad Yulianto (Scopus ID: 54407688300, IPB University & Waseda University)
Nanik Purwanti (Scopus ID: 23101232200, IPB University & Teagasc Food Research Center Irlandia)
Pastor P. Garcia (Scopus ID: 57188872339, Visayas State University)
Rosnah Shamsudin (Scopus ID: 6507783529, Universitas Putra Malaysia)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin)
Sate Sampattagul (Scopus ID: 7801640861, Chiang Mai University)
Subramaniam Sathivel (Scopus ID: 6602242315, Louisiana State University)
Shinichiro Kuroki (Scopus ID: 57052393500, Kobe University)
Siswoyo Soekarno (Scopus ID: 57200222075, Universitas Jember)
Tetsuya Araki (Scopus ID: 55628028600, The University of Tokyo)
Tusan Park (Scopus ID: 57202780408, Kyungpook National University)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, IPB University)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, IPB University)
Bendahara : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, IPB University)
Anggota : Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, IPB University)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, IPB University)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, IPB University)
Leopold Oscar Nelwan (Scopus ID: 56088768900, IPB University)
I Wayan Astika (Scopus ID: 43461110500, IPB University)
Agus Ghautsun Niam (Scopus ID: 57205687481, IPB University)
Administrasi : Diana Nursolehat (IPB University)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 7 No. 2 Agustus 2019. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof. Dr. Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Bayu Dwi Apri Nugroho, PhD (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Ir. Darma, M.Si, Ph.D (Fakultas Pertanian, Universitas Papua), Ir. Siti Mariana Widayanti, M.Si (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian), Prof.Dr.Ir. Tineke Mandang, (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Radite Praeko Agus Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold Oscar Nelwan, MSi (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lenny Saulia, MSi (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Chusnul Arif, S.TP, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor)

Technical Paper

Desain dan Kinerja Mesin Ekstruder *Twin Screw* untuk Pembuatan Pakan Ikan Terapung

Design and Performance of Twin Screw Extruders for Producing Floating Fish Feed

Arif Rahman Hakim, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: arifrahmanh11@gmail.com
Wahyu Tri Handoyo, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: wahyu.th@gmail.com
Ahmat Fauzi, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: ahmat.fauzi@gmail.com
Widiarto Sarwono, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: widiarto06@gmail.com

Abstract

Production of floating fish feed independently by fish farmer group currently constrained with types of extruders available. Single screw extruders used fail to produce floating fish feed. It caused by the extrusion process is not optimal due to either temperature or improper screw speed. An alternative solution is using extruder twin screw with temperature and screw speed can be controlled. The objective of the study is developing and assessing of twin screw extruder performance in producing floating fish feed. Principle work of extruders is conveying and mixing feed stuff to the dies under high temperature and pressure. The main component of extruder consists of a motor drive, screw, barrel, heater, dies, and cutter. Evaluation of extruder performance involve temperature, screw speed, engine power, and quality of feed produced that are floatability and unit density. The result of design and assessment are obtained prototype of twin screw extruders which have capacity 10,93 kg/h, stability temperature and screw speed, the power requirement is 5,17 kW, specific mechanical energy 136,11 kJ.kg⁻¹. Produced fish feed have floatability 96% and unit density 0,620 (g/cm³).

Keywords: *Fish feed, floating, extruder, twin screw*

Abstrak

Pembuatan pakan ikan terapung secara mandiri oleh kelompok pembudidaya saat ini terkendala jenis ekstruder yang tersedia. Ekstruder *single screw* yang digunakan belum bisa menghasilkan pakan ikan terapung. Karena proses ekstrusi yang tidak optimal baik disebabkan suhu maupun putaran *screw* yang tidak tepat. Sebagai alternatif ialah dengan menggunakan ekstruder *twin screw* dengan suhu dan putaran yang bisa dikontrol. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menguji kinerja ekstruder *twin screw* dalam memproduksi pakan ikan terapung. Prinsip kerja dari ekstruder adalah mendorong dan mengaduk bahan pakan menuju *dies* dalam kondisi tekanan dan panas yang tinggi. Komponen utama ekstruder terdiri dari motor penggerak, *twin screw*, *barrel*, element pemanas, *dies* dan pemotong. Pengujian kinerja meliputi suhu, kecepatan *screw*, daya mesin serta kualitas pakan yang dihasilkan berupa daya apung dan unit density. Hasil desain dan pengujian diperoleh mesin ekstruder dengan kapasitas 10,93 kg/jam, suhu dan putaran *screw* stabil saat dioperasikan, kebutuhan daya sebesar 5,17 kW, *specific mechanical energy* 136,11 kJ.kg⁻¹. Pakan ikan yang dihasilkan memiliki daya apung 96 % dan unit density 0,620 (g/cm³).

Kata Kunci: *Pakan ikan, terapung, ekstruder, twin screw*

Diterima: 26 Desember 2018; Disetujui: 19 Maret 2019

Latar Belakang

Harga pakan ikan terus mengalami kenaikan. Hal ini salah satunya disebabkan karena permintaan yang juga terus naik selain faktor kenaikan harga bahan baku (tepung ikan). Sebagai salah satu cara mengatasi dampak negatif dari kenaikan pakan bagi para pembudidaya ikan Pemerintah menggulirkan Program Gerakan Pakan Ikan Mandiri. Dengan program ini para pembudidaya ikan diharapkan mampu memproduksi pakan ikan secara mandiri sehingga bisa menekan biaya pengadaan pakan (DJPB, 2015).

Pakan ikan dibagi menjadi 2 jenis yaitu pakan ikan tenggelam dan pakan ikan terapung. Pakan jenis terapung memiliki keunggulan dibandingkan pakan ikan tenggelam diantaranya pencernaan lebih tinggi, mudah dikontrol jumlah pemberiannya dan tidak menyebabkan kualitas air kolam menurun (Kurniawan & Lestariadi, 2017; Yaqoob, et al 2010; Gunadi dkk, 2010). Tetapi dalam proses pembuatannya pakan terapung lebih kompleks dibandingkan pakan tenggelam. Penyebabnya ialah pakan terapung diperlukan proses ekstrusi yang tepat agar pakan bisa membentuk struktur pori sehingga bisa mengapung (Purwasasmita & Roland, 2008).

Ekstruder sebagai mesin utama dalam proses ekstrusi harus didesain sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan pakan ikan terapung yang berkualitas. Oleh karenanya ekstruder harus bisa menyediakan kondisi suhu, tekanan dan pengadukan yang optimal. Mesin ekstruder yang banyak beredar dikelompok-kelompok budidaya ikan adalah ekstruder dengan ulir tunggal (*single screw*), yang sebagian besar sumber panasnya berasal dari gesekan antara bahan dan selongsong (*barrel*) dari ekstruder. Panas tersebut sulit dikontrol akibatnya bisa kurang panas maupun terlalu panas yang keduanya akan menghambat pembentukan pakan terapung dan bisa juga menyebabkan bahan tidak bisa dialirkan *screw* karena terlalu kering sehingga mesin akan macet. Sedangkan mesin ekstruder jenis ulir ganda (*twin screw*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan jenis *single screw* yaitu proses gesekan antara bahan dan *barrel* bisa dikurangi dan pengadukan lebih homogen (Adekola, 2016; Evon, et al. 2009; Harold et al. 2005).

Penelitian terkait aplikasi ekstruder *twin screw* dalam pengolahan pakan dan pangan sudah banyak dilakukan. Senanayake & Clarke (1999) merancang mesin ekstruder *twin screw* untuk memproduksi *snack*

berbahan pisang dan beras. Philipp, et al, (2017) yang melakukan penelitian pembuatan *snack* berprotein tinggi menggunakan mesin *twin screw* ekstruder. Demikian juga Budijanto dkk (2012) mengaplikasikan mesin ekstruder *twin screw* untuk pembuatan sereal dari bekatul. Penelitian lain seperti Purwasasmita dan Roland (2008); Draganovica et al (2011); Samuelsen et al (2018), melakukan pengujian kualitas pakan ikan yang diproduksi menggunakan mesin ekstruder *twin screw*, belum membahas performansi mesin yang digunakan.

Lebih lanjut, dari penelitian-penelitian tersebut belum ada yang spesifik mendesain dan mengkonstruksi ekstruder untuk produksi pakan terapung dan uji kinerjanya terhadap mutu pakan yang dihasilkan. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah membuat ekstruder *twin screw* dengan kapasitas 10 kg/jam melalui perhitungan rancangan desain, konstruksi dan pengujian mesin yang digunakan untuk membuat pakan ikan terapung.

Bahan dan Metode

Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah peralatan-peralatan dalam konstruksi mesin ekstruder dan peralatan uji kinerja ekstruder yaitu timbangan analitik Fujitsu HTR 220, Thermometer Lutron TM-946 probe tipe K/J, tachometer digital SE-100 Sanwa, kaliper Sigmat-Vernier dan tang ampere Sanwa DCM2000DR.

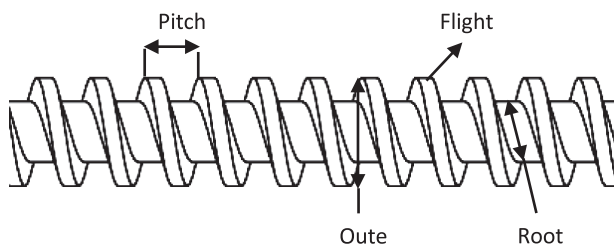
Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari bahan pembuatan mesin dan bahan untuk pengujian. Bahan pembuatan mesin terdiri dari besi kanal U ukuran 65x40x3 mm, plat besi/baja karbon S45C ketebalan 10 dan 20 mm, plat stainless steel 304 ketebalan 1 dan 1,5 mm, stainless steel 304 ukuran lebar x tebal 205 x 45 mm, as stainless steel 304 diameter ϕ 1,5 inch (38,1 mm), plat Al-05 ukuran lebar dan tebal 70x55 dan 50x15 mm, motor listrik 2 phase 7,5 kW, inverter 7,5 kW, motor listrik dan *speed reducer* 18-280 rpm, sensor dan kontrol temperatur, elemen pemanas. Bahan penyusun pakan yang dibuat meliputi tepung ikan, tepung kedelai, tepung jagung dan tepung tapioka.

Rancangan Fungsional

Ekstruder dirancang untuk memproduksi pakan ikan terapung melalui proses ekstrusi. Ekstruder ditargetkan mencetak pakan dengan ukuran diameter 3-5 mm dan berat jenis pakan lebih kecil dari 1 g/cm³. Fungsi dari setiap bagian mesin dapat dilihat pada Tabel 1.

Rancangan Struktural Screw

Bagian utama dari ekstruder ialah *screw*. *Screw* dibuat ganda (*twin*) yang berputar secara berlawanan (*counter rotating*). *Screw* harus mampu mendorong dan menekan bahan baku supaya membentuk padatan.



Gambar 1. Bagian-bagian *screw*.

Tabel 1. Rancangan fungsional.

Fungsi utama	Sub Fungsi	Komponen
Mencetak pakan berdiameter 3-5 mm dan berat jenis pakan lebih kecil dari 1 g/cm ³	Memutar, mengalirkan, mengaduk dan menekan bahan dari hopper menuju dies dalam selongsong /barrel	<i>Screw</i>
	Menahan tekanan akibat gerakan screw dan bahan	<i>Barrel</i>
	Membentuk sifat fisik pakan meliputi densitas, rasio pengembangan, tekstur permukaan dan ukuran serta bentuk	<i>Dies</i>
	Memutar <i>screw</i>	Sistem penggerak
	Menaikkan dan mengatur suhu barrel	Pemanas dan sensor suhu

Oleh karena itu material *screw* harus kuat, tidak mudah terdeformasi dan patah. Material *screw* yang digunakan adalah as stainless steel 304 diameter ϕ 1,5 inch (38,1 mm). Kapasitas sebuah mesin ekstruder ditentukan oleh ukuran *screw* yang meliputi diameter *outer* dan *root*, *pitch* serta lebar *flight* (Gambar 1). Oleh karena penentuan target kapasitas ekstruder diawali dengan perhitungan dimensi *screw*.

Target kapasitas mesin ekstruder pada penelitian ini ialah 9-11 kg/jam. Perhitungan kapasitas *screw* dalam mengalirkan bahan menggunakan persamaan 1 dibawah ini:

$$Q = BH(2\pi - \alpha)DNp \tag{1}$$

Keterangan simbol:

- N = kecepatan putar *screw* (rpm)
- α = *overlap angle of screw flights* (derajat)
- H = tinggi *flight* (mm)
- Q = aliran massa (mm³/min)
- B = lebar *channel* (mm)
- p = *pitch* (mm)
- D = diameter *outer screw* (mm)

Selanjutnya dibuat dimensi *screw* berdasarkan target kapasitas tersebut. Detail dimensi *screw* terlihat pada Gambar 2. sebagai berikut:

Barrel

Barrel adalah selongsong dari *screw* yang harus mampu menahan tekanan akibat gerakan *screw* dan bahan. Tekanan dalam *barrel* tidak diketahui secara pasti sehingga dibutuhkan nilai asumsi untuk menentukan ketebalan dan jenis bahan dari *barrel*. Nilai asumsi bisa berdasarkan literatur maupun dari mesin ekstruder komersial yang memiliki bahan yang sama. Menurut Harper (1979) tekanan pada *barrel*

di mesin ekstruder komersial bisa mencapai 17 MPa (2500 psi) tetapi juga bisa berbeda tergantung panjang *screw* dan bahan yang digunakan. Pada penelitian ini diasumsikan maksimal tekanan yang akan terjadi ialah 10 MPa.

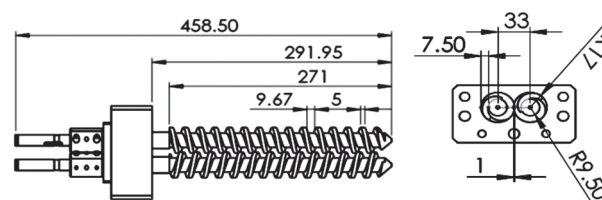
Oleh karena itu bahan yang dipilih berupa baja balok SUS 304 dengan ketebalan 19-20 mm dari silinder *screw* sedangkan ukuran panjang dan lebar *barrel* adalah 278 mm dan 200 mm. Detail desain *barrel* bisa dilihat pada gambar 3. *Barrel* didesain menjadi dua bagian yaitu bagian atas dan bawah yang dilengkapi dengan engsel supaya dapat dibuka dengan tujuan agar *screw* mudah dibersihkan.

Dies

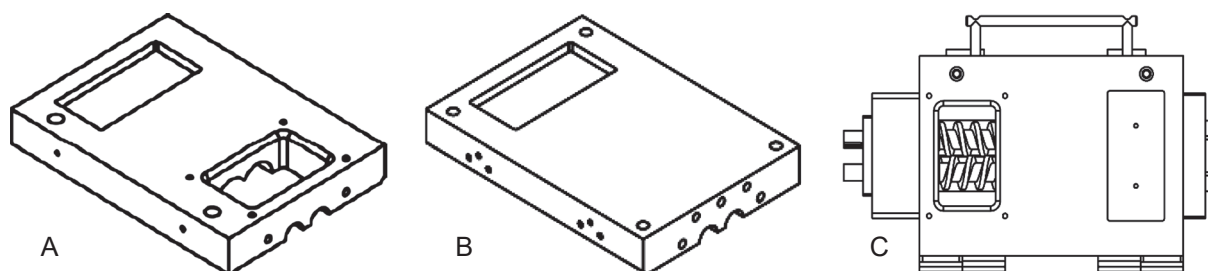
Lubang keluaran atau disebut *Dies* berperan penting dalam membentuk sifat fisik pakan. Saat produk keluar dari *dies*, tekanan dan temperature akan turun dengan tiba-tiba sehingga menyebabkan produk cenderung mengembang. *Dies* dibuat dengan bentuk kerucut, hal ini berujuan agar bahan yang mengalir dari ujung *screw* bisa dengan lancar menuju lubang *dies*. Lubang *dies* memiliki diameter 3 mm dengan jumlah lubang sebanyak 8 buah.

Sistem penggerak

Mesin *twin screw* ekstruder dilengkapi motor sebagai penggerak. Sistem penggerak yang digunakan



Gambar 2. Dimensi *screw*.



Gambar 3. *Barrel* atas (A), *barrel* bawah (B), *barrel* gabungan (C).

berupa motor listrik 3 phase jenis induksi MA132MA 4 - 7.5 kW-50 Hz-1450 rpm dengan inverter WJ200 7.5 kW sebagai pengatur putaran. Untuk mentransmisikan daya motor penggerak ke *twin screw* digunakan *coupling* dan *gear set* yang menghubungkan antara as motor dengan as *screw*. Kebutuhan energi pada motor sebagai sistem penggerak sangat bervariasi tergantung dari bahan yang diolah serta kondisi proses yang diterapkan. Pada penelitian Senanake & Clarke (1999), menyebutkan bahwa kebutuhan energi motor untuk kapasitas mesin ekstruder *twin screw* 10 kg/ jam adalah 2.2 kW. Sedangkan penelitian Muthukumarappan and Karunanithy (2000) menggunakan Persamaan 2. untuk menghitung kebutuhan energi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan daya mesin ekstruder sebesar 6.84 kW kemudian diperhitungkan faktor keselamatan dan ketersediaan motor sehingga diperoleh nilai 7.5 kW.

$$P = \tau \pi^2 D^2 N L \quad (2)$$

Dimana

P = power (W)

τ = shear stress (N.m⁻²)

D = diameter screw (m)

N = screw speed (rpm)

L = panjang screw (m)

Pemanas dan sensor suhu

Proses pembuatan pakan terapung dibutuhkan proses pemasakan yang optimal. Sehingga dibutuhkan alat yang mampu meningkatkan suhu *barrel* sesuai dengan kebutuhan. Alat tersebut ialah elemen pemanas listrik tipe plat (*heater plate*). Pemanas dipasang pada *barrel* atas dan *barrel* bawah dan diletakkan pada bagian ujung atau di bagian yang dekat dengan *dies*. *Heater plate* yang digunakan mampu menaikkan suhu hingga 200°C.

Sensor suhu untuk zona pemanasan menggunakan jenis *Thermo Couple* : *Standard Part* – 200°C 2 buah, letak *thermocouple* berada pada *barrel* bagian atas dan bawah dengan jarak 10 mm dari *screw*. Selanjutnya untuk mengatur suhu ditambahkan kontrol temperatur

jenis *Autonics*, TCN4M. Gambar keseluruhan mesin ekstruder tersaji pada gambar 4 sebagai berikut.

Metode Pengujian dan Analisis Data Pengujian

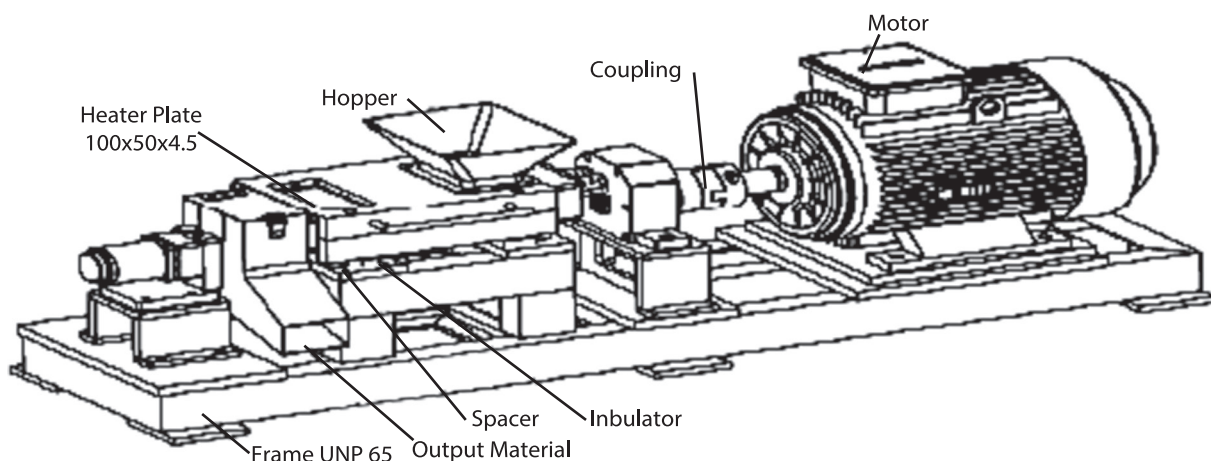
Pengujian mesin ekstruder meliputi pengukuran daya, suhu dan kestabilan putaran *screw* selama proses pembuatan pakan. Pengukuran daya menggunakan persamaan berikut :

$$Daya\ total = 1.73 \times Voltase \times Arus \times \cos\theta \quad (3)$$

Jala-jala listrik atau voltase yang dipakai sebesar 220 volt dan arus diukur menggunakan Tang amper yang dicatat setiap menit dan nilai $\cos\theta$ motor sebesar 0.84. Selanjutnya parameter suhu diukur menggunakan thermometer digital dengan *thermocouple* diletakkan didalam *barrel* bagian atas dan bawah berjarak 10 mm dari *screw*. Berikutnya parameter kecepatan *screw* diukur menggunakan alat *Tachometer digital*, bagian atau titik yang diukur putarannya adalah putaran poros motor.

Beban yang digunakan ialah formula pakan yang terdiri dari tepung ikan (38%), bungkil kedelai (22%), tepung jagung (22%) dan tepung tapioka (18%) dengan berat total 5 kg. Kemudian bahan tersebut ditambahkan air sebanyak 25%. Kondisi ekstruder diatur pada suhu 100 °C dan kecepatan *screw* 600 rpm (20 Hz).

Pengoperasian ekstruder sebagai berikut: sistem kelistrikan ekstruder dinyalakan melalui kontrol panel, kemudian diatur suhu *barrel* atas dan bawah, setelah suhu tercapai putaran *screw* diatur sesuai kebutuhan. Formula pakan yang telah ditambahkan air dan homogen dimasukkan melalui *hopper* lalu diproses dalam *screw* dan dikeluarkan melalui *dies* yang berdiamater 3 mm berjumlah 8 buah. Pakan ikan yang keluar dari lubang *dies* dalam bentuk padatan langsung dipotong oleh pisau pemotong yang ditempatkan pada permukaan *dies*. Kecepatan putaran pisau pemotong dan kerapatan dengan permukaan *dies* berpengaruh terhadap panjang pendeknya ukuran pellet yang dihasilkan. Oleh karena itu kecepatan putaran pisau



Gambar 4. Mesin ekstruder *twin screw*

pemotong harus disesuaikan dengan kecepatan ekstrusi. Pisau pemotong digerakkan dengan motor DC yang dapat diatur kecepatannya sehingga bisa diperoleh pakan dengan ukuran tertentu. Pakan yang dihasilkan berbentuk bulat dengan diameter 3-4 mm.

Selanjutnya, untuk mengetahui performansi mesin dan kualitas pakan yang dihasilkan dilakukan uji dengan beberapa variasi suhu dan kecepatan putar *screw*. Mesin ekstruder diatur pada suhu *barrel* 80, 90, 100, 110 dan 120°C dan putaran *screw* 480, 540, 600 dan 660 rpm. Setelah suhu *barrel* tercapai sesuai perlakuan tersebut, formula dimasukkan ke ekstruder melalui *hopper*. Pakan yang dihasilkan selanjutnya dikeringkan. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

Parameter yang diamati meliputi unit density (g/cm³), daya apung (%), kapasitas mesin (kg/jam) dan *specific mechanical energy*/SME (kJ.kg⁻¹). Data yang diperoleh dianalisa menggunakan software Minitab 17. Persamaan untuk perhitungan parameter adalah sebagai berikut:

Unit density. Penentuan unit density berdasarkan Rosentrater *et al* (2009) sebagai berikut 10 butir pakan yang sudah kering masing-masing diukur panjang dan diameternya menggunakan penggaris kaliper lalu ditimbang beratnya menggunakan timbangan digital. Rata-rata berat massa pelet dibagi volume merupakan nilai dari unit density.

$$\text{Unit density} = \frac{\text{berat pelet (g)}}{\text{volume pelet (mm}^3\text{)}} \quad (4)$$

Daya apung. 20 butir pelet dituang kedalam 1000 ml beaker glass berisi 800 ml aquades pada suhu ruang. Jumlah pakan yang masih terapung (NF) selama 30 menit dibandingkan jumlah pelet awal (de Cruz *et al*, 2015). dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Daya apung} = \frac{NF}{20} \times 100 \quad (5)$$

Kapasitas mesin. 1 kg bahan pembuat pakan dimasukkan mesin ekstruder kemudian waktu dihitung hingga semua bahan masuk ekstruder. Kemudian semua pelet yang terbentuk ditimbang.

$$\text{Kapasitas mesin} = \frac{\text{berat pelet yang terbentuk (kg)}}{\text{waktu yang dibutuhkan (jam)}} \quad (6)$$

Specific Mechanical Energy. SME adalah energi yang dikonsumsi oleh motor per satuan berat bahan. Dalam menghitung SME, harus dihitung dulu data kecepatan putar *screw* (n) dalam rpm, torsi motor (T) dan aliran massa bahan (MFR) dalam Kg/jam. Persamaan yang digunakan menurut Zhang *et al*. 2015 adalah sebagai berikut

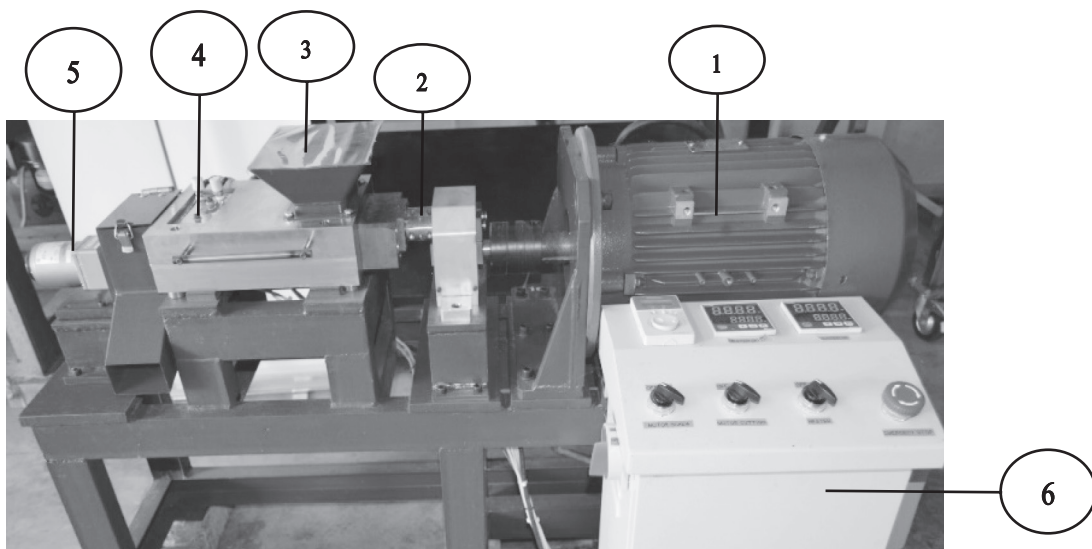
$$\text{SME} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{Kg}} \right) = \frac{2\pi \times n \times T}{\text{MFR}} \quad (7)$$

Hasil dan Pembahasan

Konstruksi Ekstruder Hasil Rancangan

Konstruksi ekstruder *twin screw* untuk pembuat pakan ikan terapung telah selesai dikerjakan (Gambar 5). Komponen utama ekstruder terdiri dari motor penggerak (1), *coupling as* motor dan *screw* (2), *hopper* (3), *barrel screw* elemen pemanas (4), *dies* (5), motor dan pisau pemotong (6) serta kontrol panel (6).

Prinsip kerja mesin ini ialah bahan baku pakan dialirkan melalui *barrel screw* dalam tekanan dan suhu tinggi lalu keluar melalui *dies* dan membentuk pelet dengan diameter 3-4 mm dan perpori. Kapasitas mesin adalah 10.93 kg/jam Jenis *screw* berupa ulir ganda (*twin*) dengan gerakan *counter rotating* putaran bisa mencapai 700 rpm. Motor penggerak yang digunakan adalah motor AC 7.5 kW. Pemanas yang diletakkan pada ujung *barrel* atas dan bawah mampu menaikkan suhu hingga 200°C.



Gambar 5. Rancangbangun mesin ekstruder *twin screw*.

Tabel 2. Performansi mesin ekstruder dan kualitas pakan

Perlakuan	Kapasitas (kg/jam)	SME (KJ.kg ⁻¹)	Daya Apung (%)	Unit Density (g/cm ³)
Putaran <i>Screw</i> (rpm)	480	7.35 ± 0.50 b	234.14 ± 5.52 a	30.00 ± 5.00 c
	540	9.56 ± 1.18 ab	178.02 ± 2.93 b	50.00 ± 5.00 b
	600	10.11 ± 0.43 ab	140.55 ± 3.10 c	95.28 ± 2.93 a
	660	10.93 ± 1.95 a	136.11 ± 4.48 c	96.00 ± 3.61 a
Suhu (°C)	80	8.41 ± 0.28 b	170.62 ± 7.27 bc	92.93 ± 2.30 a
	90	9.92 ± 0.37 a	165.19 ± 6.58 c	94.45 ± 0.63 ab
	100	9.94 ± 0.73 a	166.61 ± 6.58 c	95.28 ± 2.93 ab
	110	9.15 ± 0.14 ab	187.20 ± 12.24 b	96.25 ± 3.75 ab
	120	9.27 ± 1.24 b	213.01 ± 15.84 a	98.50 ± 1.32 b

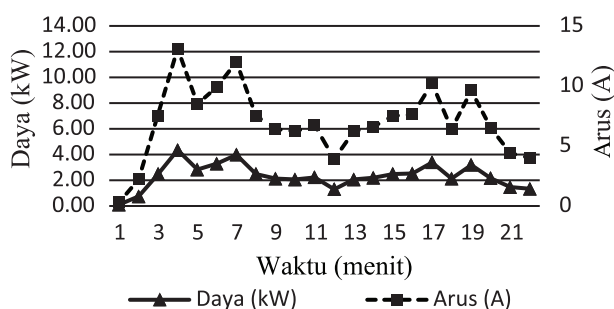
Pengujian

Hasil pengujian besaran daya dan arus listrik selama proses pengoperasian ditampilkan pada Gambar 6. Berdasarkan grafik tersebut nilai rata-rata arus sebesar 6.97 Ampere dan daya 2.31 Kilowatt sedangkan nilai maksimal untuk arus ialah 15.60 Ampere dan daya sebesar 5.17 Kilowatt.

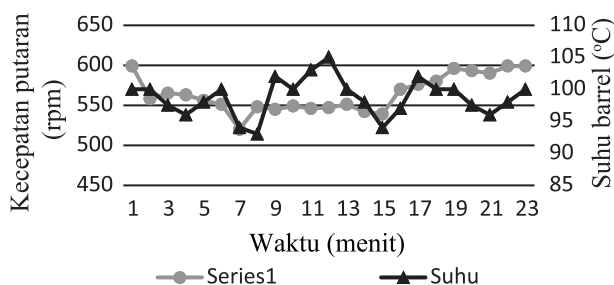
Sedangkan grafik kecepatan putaran *screw* dan suhu ditunjukkan pada Gambar 7. Putaran *screw* diatur pada frekuensi 20 Hz (600 rpm) dan selama proses ekstrusi bahan, putaran *screw* mengalami fluktuasi yaitu maksimal 599 rpm, minimal 520 rpm dan rata-rata 555.24 rpm. Suhu *barrel* tercatat maksimal 98.74°C, minimal 93°C dan rata-rata 98.74 °C.

Performansi mesin dan kualitas pakan

Dari hasil pengujian ekstruder dengan beberapa perlakuan diperoleh nilai kapasitas dan SME mesin serta nilai kualitas pakan meliputi unit density dan daya apung. Detail hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 6. Nilai arus dan daya ekstruder selama proses,



Gambar 7. Kecepatan putaran *screw* dan suhu *barrel* selama proses.

Kapasitas

Kapasitas ekstruder hasil perancangan dalam memproduksi pakan adalah sebesar 7.35 – 10.93 kg/jam. Perubahan kecepatan putaran *screw* menghasilkan nilai kapasitas ekstruder yang berbeda. Semakin cepat atau tinggi putaran *screw* akan diperoleh nilai kapasitas yang semakin besar pula. *Screw* yang berputar lebih cepat akan mendorong bahan menuju *dies* lebih cepat dan akan terjadi sebaliknya. Menurut Wei *et al* (2013), kecepatan putaran *screw* sangat mempengaruhi laju aliran bahan selain juga akan berpengaruh pada tingkat homogenitas bahan. Putaran *screw* yang lebih tinggi akan menghasilkan laju aliran bahan yang semakin besar.

Pada perlakuan suhu *barrel* yang berbeda, kapasitas tertinggi dihasilkan pada suhu *barrel* 100°C yaitu 9.94 Kg/jam. Pola kapasitas yang dihasilkan ialah pada suhu 80°C kapasitasnya hanya sebesar 8.41 Kg/jam, kemudian kapasitas naik hingga pada suhu 100°C dan mulai turun kembali pada suhu 110 dan 120°C. Dalam suhu *barrel* dibawah 90°C bahan pakan yang diolah belum mengalami proses gelatinisasi sempurna. Bahan yang mengalami gelatinisasi sempurna akan bersifat licin karena amilosa dalam pati meleleh dan membentuk larutan/cairan kental sebelum menjadi gel. Cairan inilah yang menyebabkan bahan mudah terdorong ke *dies*. Namun bila panas semakin tinggi (110°C) sebagian bahan akan mengalami matang berlebih dan mengeras sehingga gesekan bahan dengan *barrel* menjadi besar akibatnya bahan akan lambat terdorong menuju *dies*. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Ji *et al* (2017) tentang pengaruh tekanan dan suhu terhadap derajat gelatinisasi senyawa pati. Disebutkan bahwa molekul pati pada proses gelatinisasi mulai meleleh pada suhu 80°C kemudian berlanjut hingga suhu 100°C setelah itu cairan kental dari pati tersebut akan semakin mengeras karena suhu yang semakin tinggi akan menyebabkan air bebas dalam larutan/cairan menguap.

SME

Berdasarkan data pada Tabel 2. Nilai SME ekstruder cenderung turun dengan meningkatnya kecepatan putar *screw*. Menurut Zhang *et al* (2015) SME ekstruder dipengaruhi oleh konfigurasi *screw*, putaran *screw*, torsi motor dan laju aliran bahan / kapasitas.

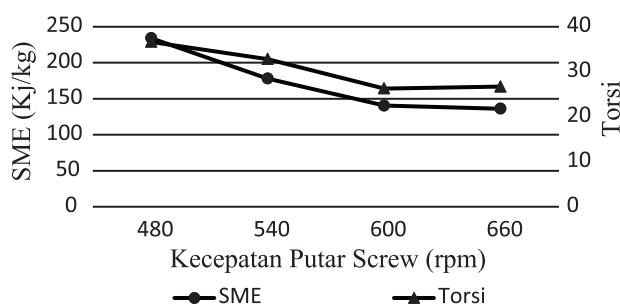
Dalam penelitian ini putaran *screw* tidak memberikan pengaruh besar dibandingkan dengan perubahan kapasitas, sehingga putaran *screw* yang tinggi dengan nilai kapasitas yang tinggi akan menurunkan nilai SME. Hal ini juga disebabkan akibat nilai torsi yang kecil ketika putaran *screw* tinggi sehingga nilai SME menjadi kecil (Gambar 8).

Perbedaan suhu *barrel* mempengaruhi nilai SME mesin ekstruder. Pada perlakuan suhu 80, 90 dan 100°C, nilai SME-nya tidak berbeda nyata dengan nilai 170.62 - 166.61 KJ.Kg⁻¹. Kemudian SME naik pada perlakuan suhu 110 dan 120°C dengan nilai sebesar 187.20 dan 213.01 KJ.Kg⁻¹. Tren tersebut dipengaruhi oleh perubahan suhu *barrel* yang berimbas pada kapasitas lalu menyebabkan perubahan nilai SME. Suhu yang terlalu tinggi mengakibatkan kapasitas rendah sehingga SME naik.

Daya apung

Parameter utama kualitas pakan yang diamati dalam penelitian ini adalah daya apung. Dalam proses ekstrusi bahan mengalami pemanasan, pengadukan dan tekanan yang tinggi sehingga pada saat keluar dari *dies* bahan akan mengembang akibat adanya perubahan tekanan dan suhu yang tiba-tiba. Uap air diantara matrik penyusun pakan akan menguap dan membentuk pori-pori dalam matrik sel yang ditinggalkan (Ayadi *et al*, 2011). Pori-pori inilah yang menyebabkan pakan bisa mengapung dalam air. Berdasarkan data pada Tabel 2. Perlakuan perbedaan kecepatan putaran *screw* berpengaruh nyata pada daya apung. Daya apung tertinggi pada perlakuan putaran 660 rpm (96.00 ± 3.61%) dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan 600 rpm (95.28 ± 2.93%). Hal ini disebabkan karena pada putaran yang tinggi menghasilkan tekanan yang lebih tinggi (Emin *et al*, 2016). Tekanan tersebut menyebabkan bahan bisa mengembang maksimal saat melewati *dies*. Putaran *screw* yang tinggi menyebabkan tekanan dalam *screw* meningkat yang menyebabkan bahan akan mengembang dan membentuk pori saat keluar dies (Wei *et al*, 2013).

Peningkatan suhu dalam ekstruder menyebabkan peningkatan daya apung. Daya apung terendah pada perlakuan suhu 80°C yaitu 92.93 ± 2.30 (%) sedangkan tertinggi pada perlakuan suhu 120°C yaitu 98.50 ± 1.32 (%). Menurut Kamarudin *et al* (2018),



Gambar 8. Hubungan kecepatan putar screw, torsi dan SME.

pakan ikan terapung karena terbentuknya porositas akibat tekanan dan suhu yang tinggi saat proses dan ukuran pori akan semakin besar jika suhu dinaikkan.

Unit density

Unit density pakan yang dihasilkan ialah 0.620 ± 0.04 - 0.782 ± 0.03 (g/cm³). Pada kecepatan *screw* yang lebih tinggi akan menghasilkan unit density pakan yang lebih rendah. Putaran *screw* yang cepat menghasilkan pakan dengan pori lebih besar karena bahan mampu mengembang lebih besar. Hal ini akibat tekanan yang lebih kuat dibandingkan tekanan pada putaran *screw* yang rendah dalam proses ekstrusi. Hasilnya berat jenis pakan yang didapatkan menjadi lebih kecil. Hasil serupa juga disampaikan oleh Rosentrater *et al* (2009) bahwa peningkatan kecepatan *screw* akan menurunkan *unit density*.

Kenaikan suhu pada ujung *screw* menyebabkan penurunan unit density pakan. *Unit density* terendah pada perlakuan suhu 120°C yaitu 0.497 ± 0.04 (g/cm³) dan berbeda signifikan dengan *unit density* terendah pada perlakuan suhu 80°C yaitu 0.674 ± 0.05 (g/cm³). De cruz *et al* (2015) mengemukakan bahwa peningkatan suhu dari 125 - 175°C pada ujung *screw* ekstruder menyebabkan penurunan *density* pakan ikan. Demikian juga disebutkan oleh Gonzales *et al* (2013) bahwa peningkatan suhu hingga 182.8°C akan meningkatkan derajat pemasakan yang menghasilkan produk dengan *density* rendah.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pakan ikan terapung bisa diproduksi menggunakan mesin ekstruder *twin screw*. Dengan komponen utama terdiri dari motor penggerak, *twin screw*, *barrel*, elemen pemanas, *dies* dan pemotong.
2. Dalam produksi pakan, kebutuhan daya maksimal sebesar 5.17 kW, kecepatan putar *screw* optimal 600 rpm, suhu *barrel* optimal 100°C, kapasitas terendah 7.35 kg/jam dan tertinggi 10.93 kg/jam, SME terendah 136.11 kJ.kg⁻¹ dan tertinggi 234.14 kJ.kg⁻¹.
3. Pakan ikan yang dihasilkan memiliki daya apung terendah 30.00% dan tertinggi 98.50%, *unit density* 0.497 - 0.782 g/cm³.

Daftar Pustaka

- Adekola, K.A. 2016. Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications. Journal of Food Science and Engineering. Vol 6:149-168.
- Ayadi, F.Y., K.A. Rosentrater., K. Muthukumarappan., M.L. Brown. 2011. Twin-screw extrusion processing of distillers dried grains with solubles (DDGS)-based Yellow Perch (*Perca flavescens*) Feeds. Food Bioprocess Technol. Vol 5: 1963-1978.

- Budijanto, S., A.B. Sitanggang., H. Wiaranti., B. Koesbiantoro. 2012. Pengembangan Teknologi Sereal Sarapan Bekatul dengan Menggunakan Twin Screw Extruder. *J. Pascapanen*. Vol 9(2): 63 – 69.
- De Cruz, C.R., M.S. Kamarudin., C.R. Saad., E.R. Fard. 2015. Effects of extruder die temperature on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. *Anim. Feed Sci. Technol*. Vol 199: 137–145.
- Draganovica, V., A.J. Goot., R. Boom., J. Jonkers. 2011. Assessment of the effects of fish meal, wheat gluten, soy protein concentrate and feed moisture on extruder system parameters and the technical quality of fish feed. *Animal Feed Science and Technology*. Vol 165: 238–250.
- DJPB (Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya). 2015. Gerpari untuk Indonesia Mandiri. *Buletin Akuakultur Indonesia*. No 13 (2).
- Emin, M.A., T. Teumer., W. Schmitt., M. Radle., H.P. Schuchmann. 2016. Measurement of the true melt temperature in a twin-screw extrusion processing of starch based matrices via infrared sensor. *Journal of Food Engineering*. Vol 170: 119-124.
- Evon, P.H., V. Vandenbossche., P.Y. Pontalier., L. Rigal. 2009. Aqueous extraction of residual oil from sunflower press cake using a twin-screw extruder: Feasibility study. *Industrial Crops and Products*. Vol 29: 455–465.
- Gonzales, R.J., E.P. Cavada., V.J. Pena., R.L. Torres., M.D. De Greef., S.R. Drago. 2013. Extrusion conditions and amylose content affect physicochemical properties of extrudates obtained from brown rice grain. *International Journal Food Science*. Vol 58:41-48.
- Gunadi, B., R. Febrianti., Lamanto. 2010. Keragaan Kecernaan Pakan Tenggelam dan Terapung untuk Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) dengan dan Tanpa Aerasi. *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakulture*.
- Harold, F.G. Jr., Jr. R.W. John., M. M. Eldridge. 2005. *Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook*. William Andrew Publishing. Norwich. New York. USA
- Harper, J.M. 1979. Food extrusion. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 11, 155–215.
- Ji, Z., L.Yu., H. Liu., X. Bao., Y. Wang., L. Chen. 2017. Effect of pressure with shear stress on gelatinization of starches with different amylose/amylopectin ratios. *Food Hydrocolloids*. Vol 72: 331-337
- Kamarudin, M.S., C.R. de Cruz., C.R. Saad, N. Romano., E.R. Fard. 2018. Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and broken rice flour level on physical properties of floating fish pellets. *Animal Feed Science and Technology*, 236: 122–130
- Kurniawan, A., R.A. Lestariadi. 2017. Induction Of Fish Pellet Making Machine To Improve Feed Community Program In Catfish Farmers In Mojokerto Regency. *Journal of Innovation and Applied Technology*. Vol 3 (01): 433-438.
- Philipp, C., I. Oey., P. Silcock., S.M. Beck., R. Buckow. 2017. Impact of protein content on physical and microstructural properties of extruded rice starch-pea protein snacks. *Journal of Food Engineering*. Vol 212: 165-173.
- Purwasasmita, B.S dan P. H. Roland. 2008. Sintesa, karakterisasi dan fabrikasi material berpori untuk aplikasi pelet apung (*Floating Feed*). *Jurnal Bionatura*. Vol 10 (1): 13-28.
- Rosentrater, K.A., K. Muthukumarappan, S. Kannadhasan. 2009. Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and potato starch. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition*. Vol 1(1): 22-38.
- Samuelsen, T.A., A. Oterhals., K. Kousoulaki. 2018. High lipid microalgae (*Schizochytrium sp.*) inclusion as a sustainable source of n-3 long-chain PUFA in fish feed—Effects on the extrusion process and physical pellet quality. *Animal Feed Science and Technology*. Vol 236: 14–28.
- Senanayake, S.A.M.A.N.S., Clarke, B. 1999. A simplified twin screw co-rotating food extruder: design, fabrication and testing. *Journal of Food Engineering*. Vol 40: 129-137.
- Wei, J., Q. Sun., X. Sun., W. Sun. 2013. A Study on Rotor Profiles Design for a Novel Twin screw Kneader. *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing*. Vol 14(3): 451-459.
- Yaqoob, M., M.R. Ali., S. Mehmood. 2010. Comparison of Growth Performance of Major and Chinese Carps Fed on Floating and Sinking Pelleted Supplementary Feeds in Ponds. *Pakistan Journal Zoologi*. Vol 42(6): 765-769.
- Zhang, B., Y. Zhang., J. Dreisoerner., Y. Wei. 2015. The effects of screw configuration on the screw fill degree and special mechanical energy in twin-screw extruder for high-moisture texturised defatted soybean meal. *Journal of Food Engineering*. Vol 157: 77–83.