



ISBN : 978-602-6204-85-1

PROSIDING SEMINAR NASIONAL

Integrated Farming System 2018

**"Pembangunan Pertanian, Peternakan & Perikanan Berkelanjutan
Menuju Ketahanan Pangan Nasional"**

Hotel Maqna Gorontalo
25 November 2018



JURUSAN PETERNAKAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO

Prosiding **Seminar Nasional** **Integrated Farming System 2018**

Hotel Maqna Gorontalo , 25 November 2018

"Pembangunan Pertanian, Peternakan & Perikanan Berkelanjutan
Menuju Ketahanan Pangan Nasional"

Narasumber :

Prof. Dr. Ir. Nelson Pomalingo, M.Pd (Bupati Kabupaten Gorontalo)
Prof. Dr. Ir. Syamsuddin Hasan, M.Sc (Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin)
Prof. Dr. Ir. Yunus Musa, M.Sc (Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin)
Prof. Dr. Ir. Rene Charles Kepel, DEA (Fakultas Perikanan Universitas Sam Ratulangi)

Steering Committee :

Dr.Mohamad Ikbah Bahua, SP, M.Si
Dr. Ir. Hayatiningsih Gubali, MP
Ir. Ellen J. Saleh, MP
Wawan Tolinggi, SP, M.Si
Ir. Nibras K. Laya, MP
Dr. Mohammad Lihawa, SP, MP
Ir. Zainuddin Antuli, M.Si
Amelia Murtisari, SP, M.Sc

Organizing Committee :

Ketua	: Dr. Ir. Syamsul Bahri, MP
Wakil Ketua	: Safriyanto Dako, S.Pt, M.Si
	Dr. Muh. Mukhtar, S.Pt, M. Si
	Ir. syukri I. Gubali, MP
Sekretaris	: Fahrul Ilham, S.Pt, M.Si
Wakil Sekretaris	: Marhama Y. Antula, S.Pt
Bendahara	: Endang Hamzah, A.Md
Wakil Bendahara	: Ir. Srisukmawati Zainudin, MP

Editor :

Dr. Ir. Syamsul Bahri, MP
Dr. Muh. Sayuti Mas'ud, S.Pt, M.Si
Dr. Indriati Husain, SP, M.Si
Fahrul Ilham, S.Pt, M.Si
Ir. Srisukmawati Zainudin, MP
Femy Sahami, S.Pi, M.Si

ISBN : 978-602-6204-85-1

Cetakan Pertama Tahun 2019
Diterbitkan Oleh UNG Press Gorontalo

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini
dengan bentuk dan cara apapun tanpa izin tertulis dari Penerbit

UJI PERFORMANSI SISTEM PENGASAPAN TIDAK LANGSUNG DAN KANDUNGAN BENZO[A]PIREN

Muh. Tahir¹, Syarifuddin²

¹Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Gorontalo, Email: muhtahir@ung.ac.id

²MTs Nurul Ikhlas Ambon, Email: syarifuddinmuhammad73@gmail.com

ABSTRAK

Tulisan ini menyajikan desain baru pengasapan tidak langsung untuk mengasapi bahan pangan seperti ikan menjadi ikan asap yang memiliki mutu sesuai dengan SNI No. 2725.1 bagian 1 dan memenuhi aturan dari sisi kontaminan benzo[a]piren. Searah dengan tujuan, metode yang digunakan antara lain desain, konstruksi dan uji performansi. Suhu yang dihasilkan dari bahan biomassa tempurung kelapa cukup untuk menghasilkan selang 70-100°C di dalam ruang pengasapan dan selang 68-80°C pada pusat ikan. Laju pengeringan rata-rata ikan cakalang dari kadar air 73% menjadi 54,2% adalah 1,01 kg/jam dengan konsumsi energi spesifik 26,66 MJ/kg uap air. Kadar benzo[a]piren ikan asap dari kedua percobaan adalah 1,59 ppb dan 0,99 ppb sebagai senyawa berbahaya. Nilai ini memenuhi ambang batas sebesar 2,0 ppb dari aturan di Indonesia tentang ikan asap dan juga memenuhi aturan komisi di Uni Eropa sebesar < 5,0 ppb atau rekomendasi dari kerjasama FAO/WHO pada besaran yang sama. Fluktuasi suhu tertinggi pada kedua percobaan adalah 365 °C dan 286 °C, dimana diizinkan sebagai acuan dalam prosedur pengasapan ikan sepanjang tingkat bahayanya sesuai dengan aturan yang disebutkan di atas.

Kata Kunci: Suhu, ikan asap, kadar air, pengasapan, laju pengasapan.

PENDAHULUAN

Dalam keseharian, pengolahan pangan mengambil bentuknya secara kompleks. Hal ini terjadi mengingat teknologi pengolahan berkembang sedemikian pesatnya. Meskipun demikian, pengolahan pangan secara mendasar dan telah dimulai sejak ribuan tahun lalu masih memiliki segmen seperti bakar-bakar (*barbeque*) dan pengasapan (*smoking*). Perkembangan teknologi pengasapan terus berlangsung dalam fase dasar yakni gas berupa campuran udara panas dan asap. Perkembangan teknologinya mengarah ke aspek media pengasapan gas yang dikenal dengan rumah asap atau *smokehouse*. Rumah pengasapan dapat dikelompokkan menjadi tiga tipe berdasarkan aliran udara-asap yakni; (1) sirkulasi udara-asap secara alami, (2) aliran udara-asap terkondisikan atau konveksi paksa dan (3) sirkulasi udara-asap kontinyu. Adapun modifikasi dari ketiga tipe rumah pengasapan tersebut dapat ditemukan di berbagai tempat tetapi memiliki kecenderungan dimana tipe sirkulasi udara-asap alami digantikan dengan tipe aliran udara-asap terkondisikan atau melibatkan peralatan konveksi paksa seperti blower (Ahmad, 2003).

Pengujian bertujuan untuk melakukan validasi desain sistem pengasapan tidak langsung berbasis potensi energi biomassa lokal dan sumber protein berbasis ikan yang tersedia hampir di sepanjang perairan Indonesia. Desain sistem pengasapan yang memiliki tingkat sanitasi operasional yang baik adalah mekanisme tidak langsung. Mekanisme pengasapan tidak langsung yakni jika bahan yang diasapi tidak satu ruangan dengan proses pembakaran sebagai sumber panas dan asapnya. Dengan demikian ruang pengasapan ikan terpisah dari unit pembangkit panas dan asap sehingga menjaga ikan dari bahan kontaminan.

Dalam banyak literatur, produk pangan yang diasapi memiliki kerawanan dari sisi keamanan terkait senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) yang bersifat karsinogen. Senyawa PAH yang menjadi penanda adalah benzo[a]piren sebagaimana hasil pengujian menunjukkan statusnya dalam kode B2 dan 2A. Kedua kode memiliki arti karsinogenik bagi manusia yang terbukti secara *in vivo* (Mahardini dkk., 2007). B2 adalah kode yang dirilis oleh US Environmental Protection Agency dan 2A oleh International Agency for Research on Cancer.

Oleh karena itu badan dunia FAO/WHO untuk kerjasama program standarisasi pangan dalam upaya mengurangi kontaminasi senyawa benzo[a]piren pada ikan asap merekomendasikan beberapa hal antara lain (Codex Alimentarius Commission, CAC 2009);

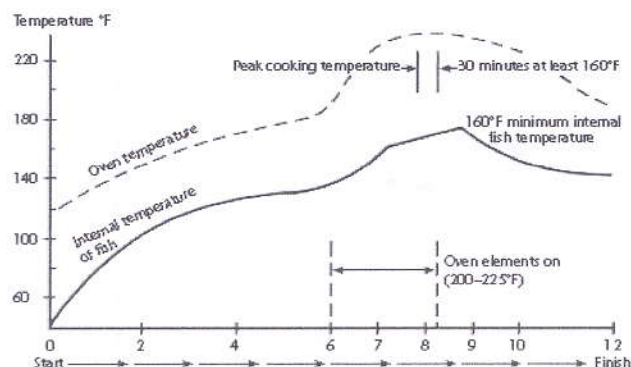
- Mengganti pengasapan langsung menjadi pengasapan tidak langsung,
- Mendesain ruang pengasapan dan peralatan untuk pengkondisian udara dan asap, misalnya panjang saluran dari sumber asap ke ruang pengasapan,
- Melengkapi ruang bersekat setelah pembangkit asap yang dilengkapi peralatan pemisah tar jika memungkinkan,

- d) Penyaringan atau pendinginan asap jika memungkinkan,
- e) Mekanisme pengaturan aliran udara untuk menghindari suhu yang berlebihan selama pembangkitan asap,
- f) Pemilihan ruang pengasapan yang tepat dan peralatan untuk mengkondisikan asap dan udara serta kontaminannya,
- g) Evaluasi lebih awal pembangkit asap terkait senyawa PAH yang terkandung di dalam asap,
- h) Penggunaan tempurung kelapa lebih aman dari pada sabutnya yang banyak mengandung resin.

Rekomendasi tersebut merupakan salah satu landasan yang melatarbelakangi desain sistem pengasapan tidak langsung. Penyaluran asap yang harus melewati jalur yang panjang dan bersekat serta melalui unit siklon separator yang ditujukan untuk memisahkan kontaminan seperti abu terbang dan tar.

Secara umum, asap adalah udara dan beberapa gas serta uap yang mengandung campuran dari partikel kecil hidrokarbon yang berbeda-beda ukurannya. Komponen kimia penting dari asap di antaranya adalah nitrogen oksida, senyawa fenol, furan, senyawa karbonil, asam-asam karboksil alipatik, senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) dan senyawa tar (Council of Europe, 1992), (Fellows, 2017). Pada proses pembakaran untuk menghasilkan asap, dekomposisi bahan biomassa berdasarkan perubahan suhu dapat dibedakan atas penguapan air yang terjadi pada suhu 150 °C hingga sekitar 170 °C. Dekomposisi selulosa dan hemi-selulosa yang intensif terjadi pada suhu 270-280 °C dan dekomposisi lignin yang intensif terjadi pada suhu 350-450 °C. Oleh karena itu disarankan untuk membatasi suhu pembakaran biomassa 425 °C pada zona dekomposisi karbon dan 325 °C pada zona oksidasi untuk produksi asap yang ditujukan untuk bahan pangan (Kowalski *et al.*, 2010).

Referensi lebih detail mengenai pola suhu pengasapan dikembangkan oleh *three pacific northwest universities* yakni Washington State University, Oregon State University dan University of Idaho. Pola suhu pengasapan mencakup suhu pematangan pada tingkat 150-160°F selama 30 menit (Rasco, 2009) sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Tipikal suhu pusat ikan & ruangan dalam siklus pengasapan. Reproduksi atas izin dari (Rasco, 2009). Copyright 2009 Washington State University Extension (digunakan dengan izin tertulis).

Pembakaran biomassa adalah proses penguraian bahan padat dengan reaksi atas bantuan panas api. Penguraian tersebut menghasilkan uap panas, asap dan partikel padat yang beterbangan atau tersisa sebagai arang. Asap dan udara panas adalah komponen yang diperlukan dalam proses pengasapan bahan pangan. Sedangkan partikel padat seperti abu terbang, fraksi halus arang, jelaga adalah bagian yang menjadi pengotor bagi bahan pangan sehingga dikenal dengan istilah kontaminan. Pada bagian lain dari uap panas, terdapat senyawa PAH seperti benzo[a]piren yang bersifat membahayakan kesehatan. Dengan demikian hasil penguraian bahan biomassa dalam proses pembakaran dapat dibagi 2 kelompok yang perlu dikondisikan yakni asap dan panas yang bermanfaat dan partikel padat dan senyawa PAH yang menjadi kontaminan.

Untuk menciptakan mekanisme jalur asap yang panjang dalam sebuah peralatan yang kompak sesuai dengan rekomendasi FAO/WHO, maka unit penukar panas adalah salah satu pilihan. Integrasi siklon separator ke unit penukar panas adalah bagian kreativitas desainer yang menjadi topik berbasis

perancangan. Demikian pula unit tungku pembakaran bahan biomassa dan ruang pengasapan yang akan diintegrasikan menjadi satu kesatuan yang utuh.

Berdasarkan uraian dan referensi-referensi sebelumnya, desain sistem pengasapan tidak langsung dan mengambil bentuk sebagai desain terintegrasi tungku biomassa, penukar panas, siklon separator dan ruang pengasapan menjadi penting untuk diwujudkan dalam sebuah prototipe. Demikian pula uji performansi sistem pengasapan beban ikan cakalang perlu dilakukan untuk mengevaluasi kandungan benzo[a]piren dalam produk ikan asap yang dihasilkan.

METODOLOGI

Metode penelitian meliputi desain dan konstruksi, instalasi dan uji performansi pengasapan ikan cakalang sekitar 30 kg berat bersih setelah dibelah. Perendaman ikan kedalam larutan garam 15% dilakukan sekitar 40-45 menit dan penirisan sebelum digantung di dalam ruang pengasapan.

Bahan biomassa yang digunakan sebagai sumber panas dan asap melalui pembakaran adalah sabut dan tempurung kelapa dengan kadar air $\pm 17\%$. Pembakaran mengikuti pola suhu sebagaimana Gambar 1 sehingga digunakan metode pengumpanan massa bertambah (*incremental*). Massa tempurung kelapa yang bersesuaian adalah 200 g, 300 g, 400 g dan 500 g sesuai percobaan awal, dimana capaian suhunya berada dibawah suhu 400 °C yang menjadi penanda kemunculan senyawa karsinogen (Kowalski *et al.*, 2010).

Pengukuran suhu menggunakan termokopel K tipe kabel teflon model KX-2*0.4 mm dengan peraga digital. Titik pengukuran mencakup suhu ruang tungku, suhu outlet pipa penukar, inlet dan outlet selubung. Sedangkan pada suhu ruang pengasapan mencakup suhu ruangan dan pusat daging ikan. Perhitungan kadar air melalui penimbangan berat baik sampel maupun keseluruhan berat ikan.

Perhitungan energi mencakup konsumsi listrik; diukur menggunakan Wh-meter untuk operasional blowernya dan konsumsi tempurung kelapa dengan nilai kalor 18388,3 kJ (Hoque & Bhattacharya, 2001). Laju penguapan air dihitung berdasarkan persamaan dasar:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{W_o - W_t}{\Delta t} \dots\dots\dots (1)$$

Lama waktu pengasapan mengikuti grafik pada Gambar 1 dan perhitungan efisiensi pemisahan abu oleh siklon dilakukan berdasarkan uji distribusi partikel abu (*particle size distribution/analyzer*) dengan instrumen CILLAS 1190 LIQUID. Analisa laboratorium untuk kandungan benzo[a]piren dilakukan dengan metode HPLC (*high performance liquid chromatography*), *Limit of detection* (LOD) 0,25 µg/kg (ppb).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain dan konstruksi menghasilkan prototipe sistem pengasapan tidak langsung. Prototipe berupa integrasi tungku pembakaran bahan biomassa, penukar panas yang dilengkapi siklon separator dan ruang pengasapan ikan. Siklon separator sebagai mekanisme pemisahan partikel padat ukuran mikroskopis hingga dimensi skala satuan mm. Performansi pemisahan partikel padat seperti abu terbang (*fly ash*), jelaga (*shoot*) fraksi halus arang (*fine fraction of char*), pasir halus (*fine sand*) dan tar menciptakan produk ikan asap yang bersih. Sedangkan pemisahan senyawa tar menyebabkan tampilan warna kuning keemasan pada ikan asap dominan dan tidak mengarah ke warna coklat atau hitam karena konsentrasi tar yang tinggi. Konsentrasi tar yang rendah pada produk ikan asap juga berdampak pada rendahnya kandungan senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) yang menyebabkan produk ikan asap yang dihasilkan menjadi lebih sehat. Fungsi lain dari siklon separator pada desain ini adalah memutar arah aliran udara dan asap menuju selubung penukar panas dan selanjutnya ke ruang pengasapan ikan. Efisiensi pemisahan siklon pada desain mencapai 94,7% (Tahir *et al.* 2017) yang menunjukkan bahwa desain siklon separator berkategori konvensional jika lebih dari 90% dan diperkaya (*enhanced*) jika lebih dari 90-95% (Seville dan Clift, 1997), (Woolcock dan Brown, 2013).

Penukar panas adalah salah satu mekanisme pemindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin tanpa adanya percampuran antara kedua fluida tersebut. Penukar panas yang digunakan bertipe selubung dan pipa (*shell and tube*) merupakan jenis yang paling umum digunakan dalam sistem penukaran panas. Pada sisi aliran fluida, sistem memanfaatkan aliran fluida yang saling berlawanan (*counter flow*) agar kedua fluida mengalami efek frontal satu sama lain. Untuk mengoptimalkan

perpindahan panas dari efek frontal tersebut, ruang bersekat (*baffles*) dengan efek pengadukan fluida beraliran silang (*cross flow*) dibuat dalam jumlah 5 ruangan. Dimensi tinggi dari penukar panas adalah sebuah fungsi di dalam menjauhkan efek kerusakan blower dari panas yang terbentuk pada ruang tungku pembakaran biomassa. Dari aspek pemisahan komponen kontaminan dalam aliran asap, struktur ruang bersekat (*baffles*) memiliki kontribusi di dalam menurunkan konsentrasi senyawa tar. Senyawa tar dalam aliran asap berupa fraksi uap yang dapat menerobos desain siklon separator. Dengan demikian penghalang selanjutnya adalah struktur ruang bersekat yang berisi susunan pipa-pipa pola segitiga sebanyak 5 kali laluan. Aliran asap akan menerpa dan bersinggungan dengan pipa-pipa tersebut sehingga fraksi senyawa tar akan mengalami penurunan konsentrasi. Mekanisme pengurangan senyawa tar pada struktur ruang bersekat ini sesuai dengan rekomendasi badan dunia FAO/WHO (Codex Alimentarius Commission, 2008).

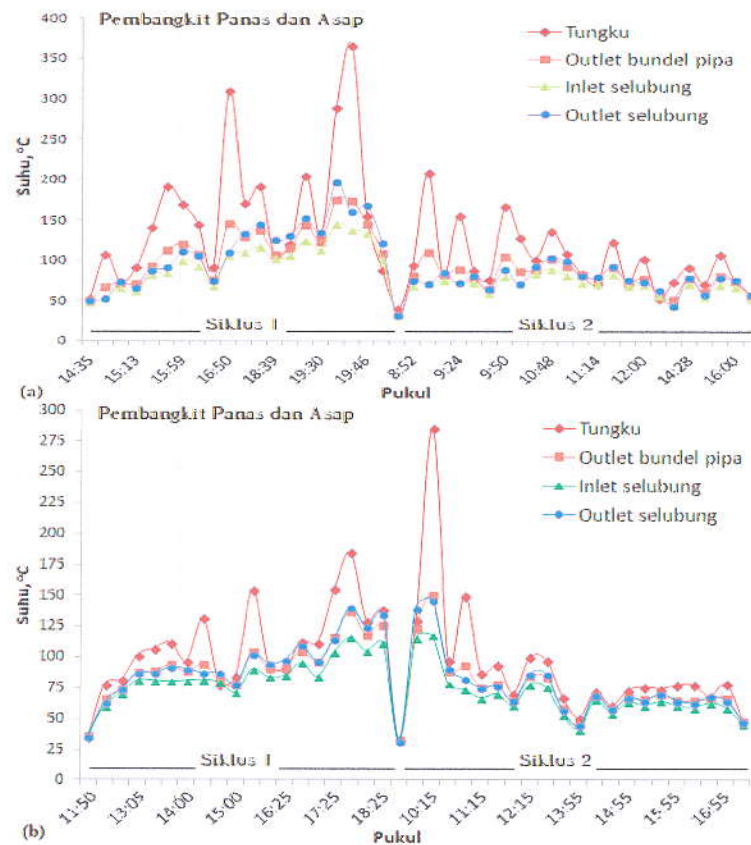
Tabel 1. Performansi Desain Pengasapan

Komponen	Satuan	Pengujian		
		ke-1	ke-2	Rata-rata
Berat tempurung kelapa	Kg	17,81	17,18	17,5
Kadar air tempurung	%	15,8±1,5	13,3±0,7	14,6±1,1
Lama pengasapan	Jam	13,0	12,0	12,5
Laju pengumpanan	Kg/jam	1,37	1,48	1,4
Energi tempurung	MJ	327,50	315,82	321,7
Energi listrik	MJ	8,4	4,6	6,5
Berat awal ikan	Kg	34	35	34,5
Berat air yang diuapkan	Kg	14,0	11,0	12,5
Kadar air akhir ikan	%	50,7	57,6	54,2
Laju penguapan	Kg/jam	1,08	0,92	1,01
Kadar benzo[a]piren	ppb	1,59	0,99	1,3
KES*	MJ/kg	23,99	29,33	26,66

Pengujian produk ikan cakalang asap dengan metode HPLC (*high performance liquid chromatography*) menghasilkan nilai tertinggi benzo[a]piren sebanyak 1,59 ppb dan 0,99 ppb. Nilai ini memenuhi batas atas yang dipersyaratkan oleh peraturan Kepala Badan POM No. HK.03.1.23.11.11.09657 Tahun 2011 dengan batas maksimum 2,0 ppb pangan olahan ikan asap (BPOM, 2011). Sebagai perbandingan dengan negara lain adalah Turki juga membatasi kandungan benzo[a]piren pada berbagai produk asapannya pada nilai yang sama 2,0 ppb (Turkish Food Codex, 2008). Regulasi negara-negara uni Eropa juga membatasi kandungan benzo[a]piren pada produk pangan asapnya pada nilai yang lebih tinggi yakni 5,0 ppb (EC, 2005). Demikian halnya badan dunia FAO/WHO mengindahkan produk asap seperti daging asap dengan konsentrasi senyawa benzo[a]piren dibawah 5,0 ppb (Codex Alimentarius Commission, CAC 2008). Jerman adalah salah satu negara yang lebih ketat mengatur batas kandungan benzo[a]piren dalam produk daging asap, yakni sebesar 1,0 ppb (Hartmann, 2000), (Stolyhwo dan Sikorski, 2005).

Dalam kaitan dengan pembangkitan panas dan asap, proses dimulai pada unit tungku pembakaran biomassa berupa sabut dan tempurung kelapa. Sabut hanya digunakan pada tahap awal pembakaran untuk mengkondisikan terbentuknya bara api. Udara panas pada unit tungku dan penukar panas ditunjukkan grafik suhunya pada Gambar 3.

Pada percobaan pengasapan ikan ulangan ke-1, fluktuasi suhu tinggi adalah 310 °C dan 365 °C mendekati suhu batas 400 °C. Secara numerik, nilai tersebut berada dibawah suhu yang dianjurkan dan kandungan senyawa PAH berupa benzo[a]piren sebesar 1,59 ppb juga bersesuaian dengan batas yang dipersyaratkan yakni 2,0 ppb. Demikian pula halnya ulangan ke-2 yang memiliki kandungan benzo[a]piren yang lebih rendah yakni 0,99 ppb bersesuaian dengan fluktuasi suhu sebesar 286 °C pada awal pengasapan di hari ke-2. Nilai kandungan benzo[a]piren pada ulangan kedua lebih rendah dan dapat memenuhi regulasi yang berlaku di Negara Jerman yakni kurang dari 1,0 ppb. Dengan demikian, dari proses pembakaran tempurung kelapa untuk menghasilkan panas dan asap dalam desain sistem pengasapan tidak langsung ini, kedua capaian suhu dapat dijadikan referensi mengingat kadar senyawa PAH; benzo[a]piren yang dimunculkannya berada dalam ambang batas yang diperkenankan.



Gambar 3. (a) Ulangan ke-1, (b) Ulangan ke-2

KESIMPULAN

Berdasarkan uji performansi sistem pengasapan tidak langsung melalui desain peralatan terintegrasi menghasilkan ikan cakalang asap yang memenuhi SNI dengan kadar air kurang dari 60%. Kedua percobaan pengasapan menghasilkan ikan cakalang asap dengan kadar air masing-masing 50,7% dan 57,6%. Kandungan benzo[a]piren ikan asap juga memenuhi persyaratan BPOM RI sebesar kurang dari 2,0 ppb yakni masing-masing 1,59 ppb dan 0,99 ppb. Fluktuasi suhu yang terjadi sepanjang pengasapan pada kedua percobaan yang menjadi indikator capaian benzo[a]piren juga kurang dari suhu kritis 425 °C, yakni masing-masing 365 °C dan 286 °C. Dengan demikian desain sistem pengasapan tidak langsung memiliki performansi yang layak untuk dikembangkan lebih lanjut hingga ke tahapan industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya sampaikan ke RISTEK DIKTI atas bantuan hibah PDD dengan kontrak No. 484/UN47.D/PL/2017 adendum 1320/UN.47.D/PL/2017.

REFERENSI

- Ahmad, J. I. 2003. "Smoked Foods | Applications of Smoking." In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*, 5309–16. Oxford: Academic Press.
- BPOM. 2011. "Peraturan kepala badan POM terkait benzo(a)piren." <https://www.google.co.id>
- Codex Alimentarius Commission, CAC. 2008. "Proposed Draft Code of Practice for the Reduction of Contamination of Food with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) from Smoking and Direct Drying Processes." FAO/WHO. <http://files.foodmate.com>
- . 2009. "Code of practice for the reduction of contamination of food with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) from smoking and direct drying processes (CAC/RCP 68-2009; Adopted 2009, Revised 2009) Prevention and reduction of food and feed contamination (1st ed.). Viale

- delle Terme di Caracalla, Rome: Joint FAO/WHO Food Standards Programme.”
<http://www.codexalimentarius.org>
- Council of Europe. 1992. Health aspects of using smoke flavours as food ingredients. Reprinted September 1998. Strasbourg: Council of Europe.
- Doe, P.E, Z. Sikorski, N. Haard, J. Olley dan B.S. Pan. 1998. Fish Drying and Smoking: Production and Quality. Lancaster: Technomic Publishing Co Inc.
- EC. 2005. “Commission Regulation (EC) No. 208/2005 amending Regulation (EC) No. 466/2001 as regards polycyclic aromatic hydrocarbons.” Official Journal of the European Union L/34, Februari, 3–5. <http://eur-lex.europa.eu>.
- Elsayed, K. 2011. “Analysis and Optimization of Cyclone Separators Geometry Using RANS and LES Methodologies.” Brussel: Vrije Universiteit Brussel. <http://mech.vub.ac.be>
- Fellows, P. J. 2017. “15 - Smoking.” In Food Processing Technology (Fourth Edition), 717–32. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing.
- Hartmann, K. 2000. Benzo[a]pyren-Bestimmung bei mit Raucharoma geräucherten Fleischerzeugnissen. Vol. 96.
- Heruwati, E.S. 2002. “Pengolahan Ikan secara Tradisional: Prospek dan Peluang Pengembangan.” Jurnal Litbang Pertanian 21 (3):92–99.
- Hoque, M. M, dan S. C Bhattacharya. 2001. “Fuel characteristics of gasified coconut shell in a fluidized and a spouted bed reactor.” Energy 26 (1):101–110.
- Kowalski, Zygmunt, Z. Wzorek, dan B. Marcin. 2010. “Removal of Unpleasant Odorous Substances from Smoke Produced by Smoke Curing Houses.” American Journal of Environmental Sciences 6 (Februari).
- Mahardini, T., I. Renawati, dan A. Yulistia. 2007. “Parameter Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Pahs) Dalam Standardisasi Produk Pangan.” Balai Besar Industri Agro Deprin.
- Rasco, B. 2009. “Smoking Fish at Home Safely - Revised.” Pacific Northwest Extension publications - Washington State University Extension. Washington State University Extension. <http://www.uaf.edu>.
- Seville, J. P. K., dan R. Clift. 1997. Gas Cleaning in Demanding Applications. 1 ed. Springer Netherlands.
- Standar Nasional Indonesia. 2009. “SNI No. 2725.1 Part 1: Quality requirements of smoked fish, revised with SNI 2725:2013 - Smoked fish with hot smoking method.” BSN Jakarta.
- Stolyhwo, A. dan Z. E. Sikorski. 2005. “Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish – a critical review.” Food Chemistry 91 (2):303–311.
- Tahir, M., Mursalin, Salengke, dan Metusalach. 2017. “Design and Performance of a Cyclone Separator Integrated with Heat Exchanger for Smoked Fish Production.” ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences 12 (19):5396–5404.
- Turkish Food Codex. 2008. “Turkish food codex communiqué on determining the maximum levels of certain contaminants in foodstuffs.” The Official Gazette 17.05.2008/26879.
- Woolcock, J. Patrick dan R. C. Brown. 2013. “A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas.” Biomass and Bioenergy 52 (Mei):54–84.

Notasi

W_0	= Kadar air awal (kg/kg bobot kering)	H	= Tinggi total siklon separator (m)
W_1	= Kadar air akhir (kg/kg bobot kering)	h	= Tinggi tabung siklon (m)
dW/dt	= Laju penguapan air (kg/jam)	v_i	= Kecepatan alir udara masuk (m/detik)
μ_2	= Viskositas udara siklon direncanakan ($N\ s/m^2$)	ρ_p	= Densitas partikel akan dipisahkan (kg/m^3)
a	= Tinggi saluran masuk siklon (m)	ρ_g	= Densitas udara operasional siklon (kg/m^3)
b	= Lebar saluran masuk siklon (m)	N_e	= Jumlah putaran aliran udara dalam siklon
$t, \Delta t$	= Waktu, selang waktu	*KES	= Konsumsi Energi Spesifik