

SAINS NATURAL

Jurnal Ilmiah Ilmu – ilmu Biologi dan Kimia
Volume 10 No. 2 Juli 2020

Pelindung :

Dr. Ir. Yunus Arifien, M.Si (Universitas Nusa Bangsa)

Penanggung Jawab (Advisory Editor)

Dr. Ir. Andi Masnang, M.Si (Universitas Nusa Bangsa)

Ketua Dewan Redaksi (Editor in Chief)

Dra. Febi Nurilmala, M.Si (Bioteknologi, Universitas Nusa Bangsa)

Editor (Editors)

Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc (Kimia Analitik dan lingkungan, Universitas Lampung)

Mamay Maslahat, S.Si., M.Si (Kimia Analisis, Universitas Nusa Bangsa)

Dra. Tri Retno Dyah Larasati, M.Si (Kimia Lingkungan, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi-Badan Tenaga Nuklir Nasional)

Editor Bagian (Section Editors)

Devy Susanty, S.Pd., M.Si (Biokimia, Universitas Nusa Bangsa)

Mia Azizah, S.Si., M.Si (Ekologi, Universitas Nusa Bangsa)

Editor Bahasa (Copy Editors)

Srikandi, S.Si., M.Si (Mikrobiologi Tanah dan Lingkungan, Universitas Nusa Bangsa)

Dra. Nia Yuliani, M.Pd (Fisiologi Tumbuhan, Universitas Nusa Bangsa)

Nina Ariesta, S.Pd., M.Si (Kimia Fisika, Universitas Nusa Bangsa)

Ade Ayu Oksari, S.Si., M.Si (Taksonomi, Universitas Nusa Bangsa)

Gladys Ayu Paramita Kusumah Wardhani, S.Si., M.Si (Kimia Anorganik, Universitas Nusa Bangsa)

Proofreaders

Dr. Lany Nurhayati, M.Si (Kimia Organik, Universitas Nusa Bangsa)

Layout Editor

Dian Arrisujaya, S.Pd., M.Si (Analisis Lingkungan, Universitas Nusa Bangsa)

Web Admin

Dian Arrisujaya, S.Pd., M.Si (Analisis Lingkungan, Universitas Nusa Bangsa)

Ahmad Yusron (Universitas Nusa Bangsa)

Sekretariat Redaksi (Secretariat)

Nurlela, S.Si., M.Si (Kimia Organik, Universitas Nusa Bangsa)

Siti Martinah Pajriah, S.Si (Universitas Nusa Bangsa)

Penerbit :

Himpunan Biologi Indonesia dan Fakultas MIPA Universitas Nusa Bangsa

Kantor :

Kampus Universitas Nusa Bangsa

Jl. Raya K. H. Sholeh Iskandar Km. 4, Cimanggu, Tanah Sareal Bogor 16166

Telp. (0251) 8340217, 7535605 Fax. (0251) 7535605

Website : <http://ejournalunb.ac.id/index.php/JSN/index>

e-mail : jsainsnatural.unb@gmail.com

Jurnal Sains Natural merupakan jurnal ilmiah yang memuat artikel hasil penelitian dan kupasan (*review*) dalam bidang Biologi dan Kimia yang orsinil dan belum serta tidak dipublikasikan dalam media lain. Naskah dikirim ke kantor editor. Naskah yang masuk akan melalui proses seleksi mitra bestari dan editor. Naskah yang dapat dimuat dengan perbaikan akan dikirimkan kembali ke penulis untuk disempurnakan, sedangkan naskah yang tidak dapat dimuat hanya akan dikembalikan jika disertai amplop balasan yang berperangko secukupnya. Informasi lengkap untuk pemuatan artikel dan petunjuk penulisan tersedia disetiap terbitan. Calon penulis artikel yang memerlukan petunjuk penulisan artikel, dapat menghubungi Redaksi Pelaksana Jurnal Sains Natural. Jurnal ini terbit secara berkala sebanyak dua kali dalam setahun (Januari dan Juli).

Journal of Natural Science is a scientific journal containing research articles and analysis (*review*) in the field of Biology and Chemistry of original and yet also not published in other media. The manuscript is sent to the office of the editor. Manuscript received will be through the selected partner process and editor. Scripts that can be loaded with the repair will be sent back to the author to be refined, while the script which can not be loaded will be returned only if accompanied by a stamped reply envelope. Complete information and instructions for loading article writing is available in every issue. Prospective authors of articles that need help writing the article, please contact the Managing Editor of Journal of Natural Science. The journal is published on a regular basis twice a year (January and July)

Mengutip ringkasan dan pernyataan atau mencetak ulang gambar atau tabel dari jurnal ini harus mendapat ijin dari penulis. Produksi ulang dalam bentuk kumpulan ulang untuk keperluan apapun harus seijin salah satu penulis dan mendapat lisensi dari penerbit. Jurnal ini diedarkan sebagai tukaran dan untuk perguruan tinggi, lembaga penelitian dan perpustakaan di dalam dan luar negeri.

Citing a summary and a statement or reprint pictures or tables from this journal should get permission from the author. Reproduced in the form of a collection of reprint for any purpose permission must be from one of the authors and get a license from the publisher. The journal is distributed as an exchange and for universities, research institutions and libraries at home and abroad.

KATA PENGANTAR

Penerbitan Jurnal Sains Natural Volume 10 No. 2, Bulan Juli 2020 dapat terlaksana berkat kerja sama semua pihak. Kami berharap isi dalam Jurnal Sains Natural ini dapat menarik minat pembaca dan diambil manfaat serta kegunaan dari hasil – hasil penelitian di dalamnya.

Pada terbitan ini membahas aspek – aspek Biologi dan Kimia seperti: *Ekstraksi Gelatin dari Tulang Ikan Kakap Putih (Lates calcarifer)*, *Komponen Kimia Kayu Trubusan Jati Unggul Nusantara (Tectona grandis Linn.f.)*, *Presipitasi Logam Berat Menggunakan Natrium Sulfida dari Belerang Alam*, *Karakterisasi dan Proporsi Abu Terbang (Fly Ash) dalam Pembuatan PCC (Portland Composite Cement)*, dan *Karakterisasi Kopi Arabika (Coffea arabica L.) Hasil Fermentasi*.

Kami mengharapkan masukan – masukan berupa kritik maupun saran yang membangun yang ditujukan baik pada pengelola maupun para penulis jurnal ini. Kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penerbitan ini, pengelola mohon maaf jika ada kesalahan – kesalahanyang tidak kami sengaja. Kami ucapkan terima kasih terutama pada mitra bestari atas segala bantuannya sehingga terbitnya Jurnal Ilmiah Sains Natural yang kami anggap kualitasnya sudah lebih baik dari Jurnal terdahulunya siap untuk diakreditasi DIKTI.

Bogor, Juli 2020

Ketua Dewan Redaksi

Sains Natural

Jurnal Ilmiah Ilmu – ilmu Biologi dan Kimia

Volume 10	Juli 2020	No. 2
1.	Ekstraksi Gelatin dari Tulang Ikan Kakap Putih (<i>Lates calcarifer</i>) dengan Variasi Konsentrasi Asam HCl <i>Bhayu gita Bhernama, Reni Silvia Nasution, Syarifah Ummayatun Nisa</i>	43-54
2.	Komponen Kimia Kayu Trubusan Jati Unggul Nusantara (<i>Tectona grandis</i> Linn.f.) pada Bagian Pangkal, Tengah dan Ujung <i>Fathia Maulida, Kustin Bintani Meiganati, Mamay Maslahat</i>	55-60
3.	Presipitasi Logam Berat Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Natrium Sulfida dari Belerang Alam <i>Wisni Rona Anami, Mamay Maslahat, Dian Arrisujaya</i>	61-70
4.	Karakterisasi dan Proporsi Abu Terbang (Fly Ash) dalam Pembuatan PCC (<i>Portland Composite Cement</i>) <i>Finda Pratiwi Istomo, Nurlela</i>	71-86
5.	Karakterisasi Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.) Hasil Fermentasi dengan Bakteri Asam Laktat (<i>Lactobacillus</i> sp) <i>Zakia Arachmah Siregar, RTM Suthamihardja, Devy Susanty</i>	87-94

EKSTRAKSI GELATIN DARI TULANG IKAN KAKAP PUTIH (*Lates calcarifer*) DENGAN VARIASI KONSENTRASI ASAM HCl

Bhayu gita Bhernama*, Reni Silvia Nasution, Syarifah Ummayatus Nisa
Program studi kimia Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, NAD, Indonesia
Jln. Syeikh Abdur Rauuf Kopelma Darussalam, 23111

*Email: deta.chavez1678@gmail.com

ABSTRACT

Extraction of Gelatin from Fish White Bone (Lates Calcarifer) with HCl Concentration Variance

Gelatin is a food added ingredient used in emulsifiers, thickeners, food stabilizers. Gelatin is a type of protein in the form of gel obtained from the denaturation of skin, bone and fish tissue collagen denaturation. The process of making gelatin from the bones of white snapper (Lates calcarifer) uses the HCl acid method with the parameters of yield, water content, ash content, and protein content. The immersion process carried out with various of HCl acid concentration 3%, 7% and 11%. The results show that the best value of % yield at a concentration of 7% of 1.90%, 10.16% water content. Ash content 3%. Protein content is 3.25%. FTIR spectrum revealed the presence of amide group at wave number 3269 cm^{-1} , amide I; II; and Amida III sequentially at wave number 1656 cm^{-1} ; 1525.69 cm^{-1} ; 1161.15 cm^{-1} .

Keywords : Gelatin ; collagen ; Lates calcarifer ; FTIR

ABSTRAK

Gelatin merupakan bahan tambah pangan yang digunakan dalam pengemulsi, pengental, penstabil makanan. Gelatin merupakan salah satu jenis protein yang berbentuk gel yang didapatkan dari hasil denaturasi kolagen kulit, tulang dan jaringan ikan. Proses ekstrak gelatin dari bahan tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) menggunakan asam HCl dengan parameter rendemen, kadar air, kadar abu, kadar protein dan analisis FTIR. Proses perendaman dilakukan variasi asam HCl 3%, 7% dan 11%. Dari hasil penelitian didapatkan nilai % rendemen tertinggi pada konsentrasi 7% sebesar 1,90%, dengan nilai kadar air 10,16%, kadar abu 3,00%, kadar protein 3,25%. Dari spektrum FTIR didapatkan gugus Amida A pada bilangan gelombang 3269 cm^{-1} , amida I ; II ; dan amida III secara berturut-turut pada bilangan gelombang 1656 cm^{-1} ; $1525,69\text{ cm}^{-1}$; $1161,15\text{ cm}^{-1}$.

Kata kunci : Gelatin ; ikan kakap putih ; FTIR

PENDAHULUAN

Gelatin merupakan salah satu bahan tambahan pangan yang sering digunakan oleh industri makanan, dimana gelatin tersebut digunakan sebagai pengemulsi, pengental, penstabil, pengikat air, pembentuk gel, pengendap dan juga digunakan sebagai pembungkus makanan (Suryanti, Hadi, & Peranginangin, 2006 ; Nurmilah, & Mujdalipah, 2018 ; Darwin, Ridhay, Hardi, 2018) . Tidak hanya sebagai bahan tambah pangan, gelatin juga digunakan dalam industri kosmetik, obat-obatan dan juga sebagai pembuat film (Iqbal, Anam, & Ridwan., 2015 ; Nurilmala & Jacob., 2017 ; Ridhay *et al*, 2018). Gelatin adalah protein dalam bentuk gel,

didapatkan secara alami dari proses denaturasi panas dan hidrolisis kolagen kulit, tulang dan jaringan serat putih hewan (Atma, Ramdhani, Mustopa, & Pertiwi., 2018) ; Gunawan, Suptijah, & Uju, 2017 ; Ridhay *et al*, 2018). Pada proses denaturasi panas dan hidrolisis tersebut struktur tripel helix dari kolagen bergabung membentuk ikatan kovalen dengan tiga jenis peptida dari asam amino (Fransiskha, 2016). Susunan asam amino gelatin hampir sama dengan asam amino kolagen yaitu glisin, prolin dan hidroksiprolin. Asam amino gelatin terisi dua pertiga oleh glisin dan sepertiga lainnya diisi oleh prolin dan hidroksiprolin (Suryanti *et al*. 2006). Suryanti *et al*. (2006) juga menyatakan dalam artikelnya mengenai ekstraksi gelatin dari ikan kakap merah

bahwa gelatin terbagi menjadi dua bagian, yaitu tipe A dan tipe B. Pembagian gelatin tersebut berdasarkan kepada proses pengolahannya. Gelatin tipe A diproses dengan cara merendam bahan baku dalam larutan asam, yang dikenal dengan sebutan proses asam. Sementara gelatin tipe B diproses dengan perendaman dalam larutan basa yang disebut sebagai proses basa. BPS (2015) dalam Gunawan *et al.* (2017) menyebutkan bahwa Indonesia belum bisa memenuhi kebutuhan akan gelatin dalam skala besar, sehingga dibutuhkan impor gelatin dari negara lain, seperti India, Cina, Jerman, Prancis, Argentina, Brazil dan Australia. BPS (2007) menuliskan Indonesia mengimpor gelatin sebesar 2.715.782 kg yaitu senilai 9.535.128 dolar AS dari negara-negara pengimpor gelatin tersebut (Nurmilah & Mujdalipah, 2018).

Gelatin impor, umumnya diproses dari bahan baku tulang dan kulit sapi ataupun babi yang berasal dari negara-negara yang penduduknya non muslim, sehingga menimbulkan keraguan akan status kehalalan gelatin tersebut. Untuk menghilangkan keraguan atas status kehalalan gelatin, dilakukan upaya dalam meminimalisir gelatin impor dengan mengganti sumber utama gelatin sapi atau babi dengan gelatin ikan (Gunawan *et al.* 2017). Hermanto, Hudzaifah & Muawanah (2014) menjelaskan bahwa gelatin berbahan baku ikan memiliki perbedaan dengan gelatin berbahan baku mamalia, diantaranya perbedaan pada titik leleh dan kekuatan gelnya. Gelatin ikan memiliki titik leleh dan kekuatan gel yang lebih rendah daripada gelatin mamalia. Akan tetapi, viskositas dari gelatin ikan lebih tinggi dibanding gelatin mamalia.

Penelitian yang terkait dengan pemanfaatan kulit dan tulang ikan sebagai bahan baku gelatin telah banyak dilakukan. Permata *et al.* (2016) memanfaatkan tulang ikan lele sebagai bahan baku pembuatan gelatin melalui metode asam dengan melakukan variasi konsentrasi asam klorida HCl. Pada konsentrasi HCl 4% dengan waktu ekstraksi 5 jam merupakan perlakuan yang terbaik menghasilkan rendemen gelatin sebesar 10,9%. Karakteristik gelatin yang diperoleh yaitu pH 4, kadar protein = 64,76

%, kadar air = 3,70 %, kadar abu = 13,37 %, kadar kalsium = 0,34 %, viskositas = 5,50 cp, bloom gel strength = 177 gBloom. Nurmilah & Mujdalipah, (2018) melakukan ekstraksi gelatin dari tulang ikan kakap menggunakan metoda asam. Asam yang digunakan adalah HCl, H₂SO₄ dan CH₃COOH. Gelatin terbaik yang dihasilkan sesuai dengan gelatin komersial sebagai gelatin pembanding adalah gelatin dengan perendaman menggunakan H₂SO₄ dengan konsentrasi 3%. Fransiskha (2016) melakukan optimasi ekstraksi gelatin dari tulang ikan tuna dengan metoda asam. Pelarut yang digunakan adalah HCl dengan variasi konsentrasi sebesar 1, 3, 5, 7, 9 dan 11%. Rendemen gelatin tertinggi diperoleh pada konsentrasi 3% sebesar 5,03% dengan kadar air 8,59%, kadar abu 8,02%, kadar lemak 0,27%, kadar protein 80,2% dan kekuatan gel gelatin adalah 167,86 gram bloom. Ridhay *et al.* (2016) melakukan pembuatan gelatin dari tulang ikan cangkalang dengan menvariasikan pelarut asam, yaitu HCl, H₂SO₄, H₃PO₄, CH₃COOH, H₂C₂O₄, dan C₆H₈O₇ pada konsentrasi 5% (b/v). Hasil yang diperoleh dengan rendemen tertinggi pada pelarut H₃PO₄ dengan kekuatan gel 39,6 mm/kg.s, viskositas 4,3784 cPs, kadar air 6,1576% dan kadar abu 2,5974%. Ridhay & Hardi (2018) melakukan ekstraksi gelatin dari tulang ikan mujair dengan perendaman menggunakan asam sitrat 9%. Atma *et al.* (2018) melakukan ekstraksi gelatin dari tulang ikan patin dengan menggunakan limbah buah nanas sebagai pengganti pelarut asam secara alami, karena buah nanas mengandung asam sitrat yang tinggi. Hasil yang diperoleh yaitu kadar air 8,59%, abu 0,95%, protein kasar 47,60% dan lemak 7,71%.

Penelitian pemanfaatan kulit ikan sebagai bahan baku gelatin juga dilakukan oleh Rahmawati & Pranoto (2012) terhadap kulit ikan belut dan lele dengan menggunakan pelarut asam asetat. Rendemen tertinggi terdapat pada ikan lele yaitu sebesar 22,01%. Nurilmala & Jacob (2017) melakukan karakterisasi gelatin dari kulit ikan tuna sirip kuning dengan perendaman menggunakan pelarut pada proses hidrolisis CH₃COOH 0,05 M, suhu ekstraksi terbaik yang didapatkan 75°C

dengan rendemen 17%, pH 5,3, kekuatan gel 1789,6 gf, viskositas 104,2 Cp. Gunawan *et al.* (2017) melakukan ekstraksi dan karakterisasi gelatin dari kulit ikan tenggiri dengan menggunakan pelarut pada proses hidrolisis adalah CH_3COOH . Suhu ekstraksi yang dilakukan pada suhu 70°C dengan rendemen yang dihasilkan $6,61 \pm 0,52\%$, pH 5,47, kekuatan gel 70,81 bloom, viskositas 5,51 cP, kandungan protein $86,78 \pm 0,07\%$, air $7,69 \pm 0,12\%$, lemak $0,71 \pm 0,07\%$ dan abu $0,58 \pm 0,13\%$. Samosir & Idiawati, (2018) dalam artikel yang berjudul ekstraksi gelatin dari ikan toman dengan memvariasikan konsentrasi pelarut asam asetat dengan rendemen gelatin terbaik pada konsentrasi 0,5% sebesar 3,04%.

Ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) memiliki pertumbuhan yang cepat sehingga menjadikannya sebagai salah satu komoditas budidaya ikan yang diunggulkan. Ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) banyak dikonsumsi oleh masyarakat di dalam dan luar negeri, dikarenakan ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) ini memiliki kandungan omega-3, protein 20% dan lemak 5% (Windarto, Hastuti, Subandiyono & Nugroho, 2019).

Dari beberapa penelitian tersebut diatas, masih sedikit yang melakukan ekstraksi gelatin dari bahan tulang ikan, terutama tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*). Oleh karena itu, peneliti tertarik melakukan penelitian tentang ekstraksi gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) dengan variasi konsentrasi asam klorida (HCl) sebagai solusi untuk menjadikan tulang ikan sebagai sumber utama pembuatan gelatin halal. Untuk menentukan kualitas dari gelatin tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) dilakukan uji karakteristik berupa uji rendemen, kadar air, kadar abu, kadar protein dan analisis gugus fungsi menggunakan FTIR.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini, antara lain peralatan gelas (duran), Oven Inkubator (GP-45BE), timbangan analitik, tanur, water bath, dan FTIR (Shimadzu).

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) yang didiambil dari tempat pengolahan ikan Lampulo, Banda Aceh, akuades, natrium hidroksida (NaOH) 45% dan natrium hidroksida (NaOH) 0,1 N (Merck), natrium sulfat (Na_2SO_4) (Merck), tembaga (II) sulfat (CuSO_4) (Merck), logam Zink (Zn) (Merck), indikator phenolphthalein (PP) (Merck), indikator metil orange (MO) (Merck), asam sulfat (H_2SO_4) (Merck) dan asam klorida (HCl) p.a.

Metode

Tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) yang diambil dari tempat pengolahan ikan Lampulo terlebih dahulu dilakukan uji taksonomi. Kemudian dilakukan pembuatan gelatin dengan empat proses, tahapannya yaitu *degreasing*, demineralisasi, ekstraksi dan yang terakhir adalah proses pengeringan. Setelah itu dilakukan karakterisasi gelatin yaitu rendemen, kadar air, kadar abu, dan kadar protein serta dianalisis gugus fungsinya menggunakan FTIR.

Ekstraksi Gelatin

a) *Degreasing*

Proses *degreasing* mengacu pada metoda yang digunakan oleh Ridhay, *et al.* (2016) dan dimodifikasi. Proses diawali dengan cara merendam tulang ikan dengan air mendidih selama ± 30 menit, kemudian sisa daging dan lemak yang masih menempel dibersihkan dari tulang. Selanjutnya tulang ikan dijemur hingga kering dan dipotong-potong dengan ukuran ± 1 cm

b) Demineralisasi

Sebanyak 75 gram tulang ikan kakap putih direndam dalam larutan asam klorida (HCl) dengan variasi konsentrasi 3%, 7% dan 11% dengan waktu perendaman selama 48 jam (sampai terbentuk tulang lunak (*ossein*)), setelah itu disaring. Perbandingan yang dimiliki pada tulang ikan dengan pelarut yaitu sebesar 1:3 (b/v) Kemudian tulang lunak (*ossein*)

tersebut dicuci dengan akuades hingga pH 6-7 (netral) kemudian disaring.

c) Ekstraksi

Ossein (tulang lunak) pada pH netral hasil demineralisasi, dilakukan proses ekstraksi menggunakan *water bath* pada suhu 70°C selama \pm 3 jam. Kemudian filtrat disaring.

d) Pengeringan

Filtrat hasil ekstraksi dikeringkan dalam oven pada suhu 50-60°C selama 24 jam (hingga terbentuk gelatin)

Karakterisasi gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*)

Karakterisasi gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) mencakup pengujian rendemen, kadar air, kadar abu dan kadar protein. Pengujian ini dilakukan 3 kali pengulangan. Analisis gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) menggunakan statistik uji t dan gugus fungsi menggunakan FTIR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi morfologi

Tahap awal penelitian ekstraksi dan karakterisasi gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) ini adalah penentuan taksonomi dari ikan kakap putih (*Lates calcarifer*), sehingga diperoleh hasil antara lain : Kingdom : Animalia, Phylum : Chordata, Sub phylum : Vetebrata, Classis : Pincas Sub class : Teleostei, Orde : Percomorphi, Familia : Centropomidae, Genus : Lates, Species : Lates calcarifer. Berdasarkan taksonomi yang telah dilakukan tersebut, ikan kakap putih yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.

Ekstraksi gelatin tulang kakap putih (*Lates calcarifer*)

Proses pembuatan gelatin ini terdiri dari tiga tahapan awal yaitu pembersihan (*degreasing*), proses penghilangan kandungan mineral (demineralisasi) dan terakhir proses pemisahan (ekstraksi). Tahap pertama adalah proses pembersihan tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) dari

daging dan lemak yang menempel pada tulang sehingga dapat digunakan pada proses selanjutnya. Tulang ikan kakap putih yang telah dibersihkan dan dikeringkan dapat dilihat pada Gambar 2.



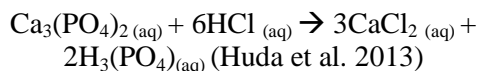
Gambar 1. Ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) (Sumber : Dokumentasi pribadi)



Gambar 2. Tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) yang telah dikeringkan dan dibersihkan (Sumber : Dokumentasi pribadi)

Tahap kedua adalah proses penghilangan mineral yang terdapat pada tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) berupa penghilangan kalsium dan garam. Perendaman tulang ikan kakap putih menggunakan HCl sampai menjadi lunak dinamakan *ossein*. Ridhay & Hardi (2018) menyatakan selain proses demineralisasi proses lain yang terjadi adalah proses *swelling* (pengembangan tulang). Ridhay & Hardi (2018) juga menuliskan pada proses ini terjadi pemasukan proton kedalam struktur tulang yang kehilangan mineral (adanya ruang kosong pada tropokolagen). Reaksi yang terjadi pada ossein (tulang ikan

lunak) dengan asam pada proses perendaman sebagai berikut :



Tahap ketiga yaitu proses ekstraksi tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) menggunakan akuades. Proses ekstraksi ini menggunakan *water bath* pada suhu 70°C selama ±3 jam. Proses ekstraksi yang dilakukan bertujuan agar ikatan hidrogen pada tropokolagen rusak. Setelah 3 jam disaring dan filtrat yang dihasilkan dikeringkan menggunakan oven suhu 60°C selama 24 jam. Penggunaan suhu 60°C ini dilakukan agar tidak terjadi denaturasi ikatan polipeptida yang terdapat pada tulang ikan. Setelah 24 jam, filtrat tersebut diambil dari dalam oven filtrat yang sebelumnya berbentuk cairan setelah dilakukan pengeringan membentuk lapisan tipis. Lapisan ini diambil dengan cara dikerok hingga membentuk serbuk. Serbuk gelatin ini kemudian dilakukan karakterisasi berupa penentuan rendemen, kadar abu, kadar air, kadar protein dan analisis gugus fungsi menggunakan FTIR. Gambar hasil ekstraksi gelatin dari tulang ikan kakap putih dengan perendaman menggunakan HCl dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3. Gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) hasil perendaman menggunakan HCl (Sumber : Dokumentasi pribadi)

Ekstraksi gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) menggunakan variasi konsentrasi HCl 3%, 7% dan 11% yang digunakan sebagai larutan perendaman

dalam proses demineralisasi tulang kakap putih (*Lates calcarifer*). Proses demineralisasi ini dilakukan dengan perendaman selama 48 jam sehingga proses pemutusan ikatan hidrogen pada struktur kolagen berlangsung baik. Samosir & Idiawati (2018) menyatakan bahwa proses perendaman dengan menggunakan asam ini untuk mengubah kolagen yang berantai tiga menjadi kolagen berantai tunggal. Selain itu, proses perendaman juga mengakibatkan pengembangan/pembengkakan (*swelling*). Proses ini dapat membuang zat-zat atau material-material yang tidak dibutuhkan, hal ini dikarenakan terdapatnya ruang kosong pada tropokolagen sehingga ion H⁺ dari senyawa asam akan masuk dan berinteraksi dengan gugus karboksil dan mengubah ikatan pada tropokolagen (Samosir & Idiawati, 2018). Proses ekstraksi dengan air hangat akan memutuskan ikatan hidrogen dan memecahkan ikatan kovalen yang terdapat pada rantai tripel helix kolagen sehingga menghasilkan rantai kolagen yang larut dalam air (Hermanto, Hudzaifah & Muawanah, 2014). Dari Gambar 3 tersebut terlihat warna gelatin yang dihasilkan kuning terang.

Karakterisasi gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*)

Rendemen

Penelitian ekstraksi dan karakterisasi gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) dengan memvariasikan konsentrasi HCl 3, 7 dan 11% didapatkan data hasil rendemen pada Tabel 1. berikut :

Tabel 1. Hasil rendemen gelatin kakap putih (*Lates calcarifer*) menggunakan pelarut HCl dengan variasi konsentrasi 3%, 7% dan 11%

Pelarut (Solven)	Konsentrasi (Concentration)	Nilai (%) rendemen (yield value (%))
HCl (Hydrochloric acid)	3%	1,44
	7%	1,90
	11%	0,89

Berdasarkan Tabel 1 diatas konsnetrasi 4% ke konsentrasi 7% nilai rendemen

meningkat dan pada konsentrasi 11% nilai rendemen kembali menurun, kemudian diambil rendemen terbaik pada konsentrasi 7% sebesar 1,90% dan diambil sebagai dasar uji karakterisasi gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*).

Konsentrasi asam yang tinggi menyebabkan gelatin mengalami hidrolisis sehingga terjadi penurunan jumlah gelatin. Rendah atau tingginya suatu rendemen yang terjadi disebabkan oleh pengaruh ion H^+ yang mengalami hidrolisis dari kolagen rantai tripel helix menjadi kolagen rantai tunggal (Samosir *et al.*, 2018). Nilai rendemen terendah pada penggunaan pelarut HCl 11%, hal ini diakibatkan karena pelarut HCl 11% menghasilkan proton lebih banyak sehingga terjadi seringnya terjadi tumbukan garam kalsium dan protein tulang ikan dengan pelarut asam. Penggunaan pelarut asam dengan konsentrasi yang tinggi mempermudah putusnya ikatan peptida pada tropokolagen yang menyebabkan protein juga ikut larut dalam pelarut asam.

Permata, Widiastri, Sudaryanto, & Anteng (2016) melakukan ekstraksi gelatin dari tulang ikan lele menggunakan variasi HCl 2%, 4%, 6%, dan 8% sebagai larutan perendaman ikan tulang lele pada proses demineralisasi. Dari hasil tersebut didapatkan nilai rendemen tertinggi pada

konsentrasi 4% pada waktu 5 jam sebesar 10,90%. Semakin tinggi konsentrasi HCl rendemen yang dihasilkan juga akan semakin tinggi hingga pada suatu titik konsentrasi dan kemudian turun kembali. Hal ini disebabkan, konsentrasi ion H^+ dalam larutan asam mengkonversi kolagen lebih mudah menjadi gelatin. Akan tetapi, jika konsentrasi ion H^+ terlalu banyak mengakibatkan kolagen pada tulang ikan mengalami destruksi sehingga kolagen tidak terkonversi menyeluruh menjadi gelatin. Penentuan nilai rendemen ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keefektifan dan keefisienan proses ekstraksi yang telah dilakukan pada proses pembuatan gelatin (Darwin, Ridhay & Hardi, 2018 ; Ridhay, Musafira & Nurhaeni 2016). Fransiskha (2016) melakukan optimasi gelatin pada tulang ikan tuna dengan menggunakan variasi pelarut asam klorida 1, 3, 5, 7, 9 dan 11%. Didapatkan nilai rendemen tertinggi pada konsentrasi 3% sebesar 5,03%. Hal ini disebabkan perendaman tulang ikan dengan konsentrasi asam yang terlalu tinggi mengakibatkan terurainya (terdegradasi) komponen-komponen kolagen yang semakin banyak. Hasil rendemen gelatin dari tulang ikan kakap putih dengan perendaman menggunakan HCl 7% sebesar 1,90%.

Tabel 2. Perbandingan nilai karakterisasi gelatin dari ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) menggunakan HCl, gelatin komersil, gelatin berdasarkan SNI 06-3735-1995 dan GMIA (Gelatin Handbook), dan JECFA

Karakteristik Characteristics	Gelatin Gelatin					
	Tulang ikan kakap putih (<i>Lates calcarifer</i>) (HCl 7%)	Komersil commercial (Permata <i>et al.</i> , 2016)	Komersil commercial (Fulanah, 2012)	Indonesia nation Standard No. 06-3735-1995 (SNI No. 06-3735-1995)	GMIA (GMIA, 2019)	JECFA (Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2004)
Rendemen (%) Yield (%)	1,90	-	-	-	-	-
Kadar Air (%) Water content (%)	10,16	11,5	10,95	Max 16	Max 15	Max 18
Kadar Abu (%) Ash content (%)	3,00	0,77	1,51	Max 3,25	Max 0,30 – 2,00	Max 2
Kadar Protein (%) Protein content (%)	3,25	85,01	79,40	-	> 90,00	-

Hasil rendemen ini kecil dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fransiskha (2016) dimana perendaman tulang ikan tuna menggunakan HCl 7% selama 4 hari, disebabkan oleh proses perendaman yang terlalu lama dan konsentrasi HCl yang besar, sehingga komponen-komponen mineral, asam amino serta kolagen yang terdapat dalam tulang ikan kakap putih ini terurai terlalu banyak. Dari hasil analisis rendemen yang telah dilakukan sebanyak tiga kali perlakuan perendaman menggunakan HCl 7%, didapatkan standar deviasi 0,042 sehingga dilakukan uji statistik rata-rata rendemen gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*). Hasil menunjukkan bahwa nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$ yang artinya data tersebut signifikan.

Untuk uji karakteristik gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan standar nasional Indonesia dan standar Internasional, seperti yang tercantum pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, kadar air, kadar abu dari tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) masih memenuhi standar SNI No. 06-3735-1995. Akan tetapi belum memenuhi standar internasional GMIA dan JECFA. Begitu juga dengan kadar protein dibawah standar internasional GMIA.

Kadar air

Kadar air pada proses pembuatan gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) sangat berpengaruh terdapat tekstur, mutu, rasa dan masa penyimpanan (Junianto, Kiki Haetami, & Maulina, 2006 ; Iqbal, Anam & Ridwan., 2015 ; Ridhay & Hardi, 2018 ; Permata, Widiastri, Sudaryanto, & Anteng., 2016 ; Pertiwi, Atma, Mustopa, & Maisarah., 2018 ; (Rachmania, Nisma & Mayangsari., 2013). Kadar air dalam produk pangan sangat penting dilakukan pengujian karena mempengaruhi kualitas produk pangan tersebut, hal ini dikarenakan air merupakan tempat aktivitas mikroba, bakteri, enzim dan aktivitas kimia yang menyebabkan perubahan tekstur, warna, rasa dan aroma. Kadar air gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) dengan konsentrasi HCl 7% sebesar 10,16% dan masih dalam batas

standar nasional Indonesia SNI No. 06-3735-1995 dan standar Internasional GMIA serta JECFA. Kadar air gelatin tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) dengan rendemen pada konsentrasi HCl 7% ini, lebih besar dibandingkan Permata et al., (2016) melakukan perendaman tulang ikan lele dengan larutan asam klorida (HCl) 4% menghasilkan kadar air 3,7%. Fransiskha, (2016) melakukan perendaman tulang ikan tuna dengan HCl 3% menghasilkan kadar air 8,59%. Kandungan air didalam gelatin yang masih ada, dikarenakan pada proses pengeringan tulang ikan yang dilakukan tidak terlalu kering.

Analisis kadar air dengan tiga kali perlakuan didapatkan standar deviasi 0,37 sehingga dapat dihitung uji rerata, hasil $t_{hitung} < t_{tabel}$ yang dapat diambil kesimpulan bahwa hasil uji rerata signifikan.

Kadar abu

Kadar abu merupakan tahapan pengujian terhadap zat anorganik sisa hasil pembakaran suatu bahan organik dari makanan. Pertiwi, Atma, Mustopa, & Maisarah (2018) menjelaskan tinggi atau rendah suatu kadar abu berasal dari mineral-mineral yang ada pada sampel uji dan juga proses demineralisasi pada saat pembuatan gelatin. Selain itu, kadar abu juga melihat berhasil atau tidak proses ekstraksi yang dilakukan. Apabila kadar abu semakin rendah, tingkat kemurnian semakin tinggi. Nilai kadar abu gelatin tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) pada perendaman HCl 7% sebesar 3%. Berdasarkan standar nasional Indonesia SNI No. 06-3735-1995 kadar abu yang dihasilkan dari gelatin tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) ini masih dalam batas standar, begitu juga dengan standar Internasional GMIA dan JECFA. Kadar abu yang dihasilkan diindikasikan merupakan kalsium. Huda et al., 2013 menjelaskan bahwa kalsium yang terdapat pada tulang ikan akan bereaksi dengan asam membentuk ion kalsium (Ca^{2+}) yang terlarut dalam pelarut. Akan tetapi ion kalsium yang tertinggal pada tulang ikan akan terekstrak bersama gelatin.

Kadar abu dari penelitian ini masih tergolong besar jika dibandingkan dengan kadar abu yang dihasilkan dari proses

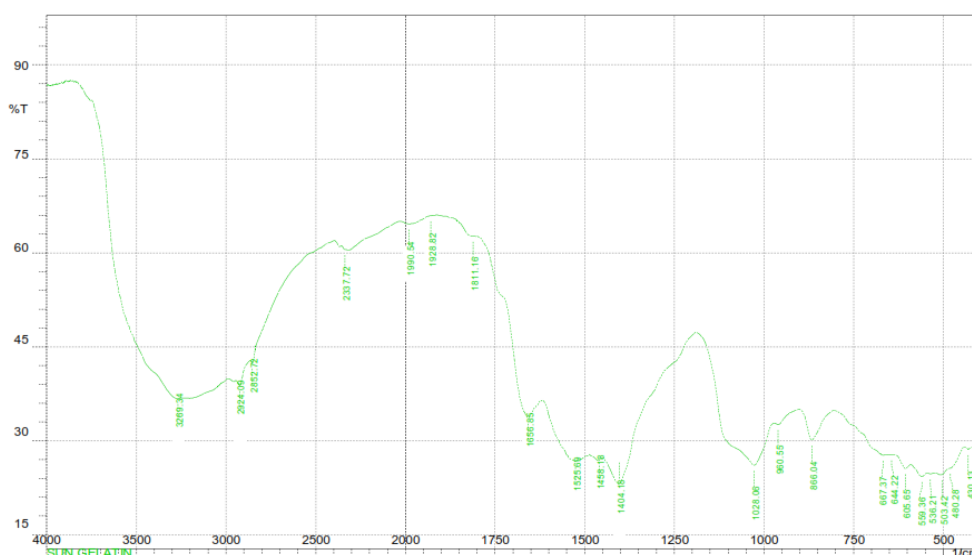
ekstraksi gelatin ikan tulang patin dengan pelarut asam sitrat menghasilkan kadar abu 0,38% (Pertiwi *et al.* 2018), gelatin dari tulang ikan patin menggunakan limbah buah nanas dengan kadar abu 0,95% (Atma, Ramdhani, Mustopa, Pertiwi, & Maisarah, 2018), gelatin dari tulang ikan cangkalang dengan pelarut HCl 5% dengan kadar abu 1,397% (Ridhay, Musafira, Nurhaeni, Nurakhirawati, & Khasanah, 2016), gelatin dari ikan tuna menggunakan pelarut HCl 3% menghasilkan kadar abu sebanyak 8,02% (Fransiskha, 2016), kadar abu dari gelatin tulang ikan lele dengan perendaman HCl 4% sebesar 13,37% (Permata Widiastri, Sudaryanto, & Anteng, 2016). Saputra, Widiastuti, & Supriadi (2015) menyatakan bahwa kadar abu merupakan mineral-mineral hasil penguraian yang tertinggal pada proses ekstraksi. (Suptijah *et al.*, 2013) juga menyatakan bahwa besar atau kecil nilai suatu kadar abu dipengaruhi oleh proses penguraian mineral pada waktu pencucian. Banyaknya mineral yang terurai maka kadar abu juga akan berkurang. Mineral-mineral yang belum terlepas dari kolagen selama pencucian dan penyaringan itulah yang terbawa saat proses pengabuan. Kadar abu dari gelatin tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) dengan konsentrasi HCl 7% masih tergolong besar. Dalam artikelnya Huda *et al.* (2013) menjelaskan semakin tinggi pelarut asam yang digunakan maka

kalsium yang terlarut juga semakin banyak dan menyebabkan kalsium pada ossein berkurang. Penurunan kalsium pada ossein ini yang menjadi salah satu penyebab penurunan kadar abu. Karena kalsium yang terekstrak menjadi lebih sedikit.

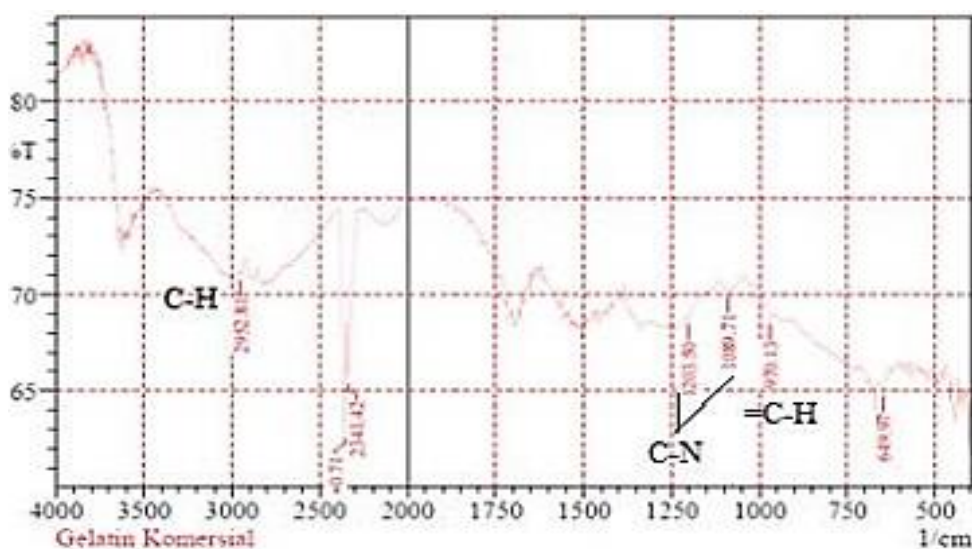
Hasil analisis yang dilakukan sebanyak tiga kali perlakuan terhadap kadar abu didapatkan standar deviasi 0,26 dengan nilai rerata $t_{hitung} < t_{tabel}$ dapat diambil kesimpulan bahwa kadar abu mempengaruhi kualitas gelatin yang dihasilkan.

Kadar Protein

Kadar protein gelatin yang dihasilkan dari proses ekstraksi tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) dengan perendaman HCl 7% menggunakan metoda Kjeldahl. Metoda ini sering dilakukan untuk menentukan kadar protein pada makanan. Kadar protein yang dihasilkan dari gelatin tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) menggunakan pelarut HCl 7% sebesar 3,25%. Kadar protein yang dihasilkan sangat rendah dan tidak sesuai dengan kadar protein Internasional dan kadar protein gelatin komersil. Kadar protein menurut GMIA >90,00 dan komersil yang didapat oleh Permata *et al.* (2016) sebesar 85,01. Hal ini disebabkan karena tulang ikan yang digunakan tidak dalam keadaan segar, dikarenakan ikan sebelum diolah disimpan beberapa hari.



Gambar 4. Spektrum FTIR gelatin tulang kakap putih (*Lates calcarifer*)
(Sumber: Dokumentasi pribadi)



Gambar 5. Spektrum FTIR dari gelatin komersial
(Sumber : Permata, dkk(2016))

Penggunaan pelarut asam pada saat demineralisasi dan proses ekstraksi juga menyebabkan protein mengalami denaturasi sehingga mempengaruhi kadar protein yang dihasilkan (Saputra *et al.*, 2015). Rachmania *et al.* (2013) menjelaskan bahwa kadar protein terbentuk akibat dari proses pemanasan. Apabila proses pemanasan dilakukan berlebih maka jumlah protein bertambah. Suptijah *et al.* (2013) juga menjelaskan bahwa tinggi atau rendahnya kadar protein dipengaruhi oleh pelarut pada proses perendaman yang dilakukan. Hal ini terjadi karena pada proses perendaman terjadi reaksi pemutusan hidrogen dan pelepasan komponen kolagen.

Hasil analisis rerata statistik yang dilakukan sebanyak tiga kali perlakuan didapatkan standar deviasi untuk kadar protein 0,132 dengan nilai rerata $t_{hitung} < t_{tabel}$, dapat diambil kesimpulan bahwa hasil uji rerata signifikan.

Analisis FTIR

Analisis FTIR digunakan untuk menganalisis struktur molekul gelatin, struktur molekul gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*), dibandingkan dengan gelatin komersial dan standar gelatin ikan. Gelatin yang dianalisis dengan metoda FTIR adalah gelatin yang telah dilakukan

perendaman menggunakan pelarut HCl 7%. Perbandingan spektrum IR gelatin dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*) dengan IR perbandingan dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

Pada dasarnya gugus fungsional gelatin terbagi menjadi empat bagian, yaitu amida A, amida I, amida II dan amida III. Amida A dapat dilihat pada kisaran panjang gelombang 3600-2300 cm^{-1} , amida I dapat dilihat pada kisaran panjang gelombang 1636-1661 cm^{-1} , amida II dapat dilihat pada kisaran panjang gelombang 1560- 1335 cm^{-1} dan amida III dapat dilihat pada kisaran panjang gelombang 1300-1200 cm^{-1} (Hermanto, Hudzaifah & Muawanah, 2014). Dari Tabel 3 terlihat bahwa serapan maksimum pada gugus fungsi amida A, I, II dan III dari gelatin tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) tidak berbeda jauh dari penyerapan pada gugus fungsi gelatin perbandingan, yaitu gelatin komersial. Gunawan, Suptijah, & Uju (2017) menjelaskan bahwa gelatin pada serapan amida A terjadi akibat N-H mengalami proses renggangan dari ikatan hidrogen dan asam amino prolin. Amida I adalah sisa amida dari gelatin, amida II struktur α helix dan asam amino prolin, amida III merupakan rantai tripel helix menjadi α helix akibat denaturasi molekul kolagen menjadi gelatin.

Tabel 3. Perbandingan spektrum FTIR dari tulang kakap putih (*Lates calcarifer*)

Gugus Fungsi Amida Amida Function Group	Gelatin/Gelatin			
	Panjang gelombang cm^{-1} Wavenumber cm^{-1}			
	Tulang ikan Kakap Putih Fish bone of <i>Lates calcarifer</i>	Komersial Comercial (pembanding/ comparison) (Permata <i>et al.</i> , 2016)	Tulang ikan lele dengan pelarut HCl 4% Catfish bone with 4% HCl solvent (Permata <i>et al.</i> , 2016)	Tulang Ikan Mujair dengan pelarut asam sitrat 9% Mujair Fish Bone with 9% Citric Acid Solvent (Darwin, Ridhay, Hardi, 2018).
A (3600-2300 cm^{-1}) (NH)	3269	2952,81 cm^{-1}	2852,52 cm^{-1} dan 2923,88 cm^{-1}	2379,19 cm^{-1}
I (1636-1661 cm^{-1}) (C=O)	1656	1700.00 cm^{-1}	1743,53 cm^{-1} ,	-
II (1560- 1335 cm^{-1}) (CN dan NH)	1525,69	1500.00 cm^{-1}	-	1592,33 cm^{-1}
III (1300-1200 cm^{-1}) (CN dan NH)	1161,15	1203 cm^{-1} dan 1089,71 cm^{-1}	1168,78 cm^{-1}	1491,05 cm^{-1} , 1401,04 cm^{-1} dan 1361,64 cm^{-1}

Permata *et al.* (2016) menghasilkan gugus fungsi yang hampir sama dengan gelatin komersial yang digunakan, terlihat kemiripan gugus C-H, C-N C=O antara kedua sampel gelatin. Pada gelatin percobaan dari tulang ikan lele gugus C-H terdapat pada panjang gelombang 2852,52 cm^{-1} dan 2923,88 cm^{-1} sedangkan gelatin komersial terdapat pada panjang gelombang 2952,81 cm^{-1} . Gugus fungsional C-N pada pembuatan gelatin dari tulang lele terdapat pada panjang gelombang 970,13 cm^{-1} dan gugus C=O terdapat pada panjang gelombang 1743,53 cm^{-1} . Darwin, Ridhay & Hardi, (2018) dalam artikelnya menjelaskan terdapat gugus -OH pada 3396,70 cm^{-1} dan gugus -NH pada 2379,19 cm^{-1} . Adanya gugus -OH menandakan masih terdapat kandungan air pada proses ekstraksi. Pada penelitian ini, terdapat gugus OH pada panjang gelombang 3269 cm^{-1} yang dapat dilihat pada Gambar 4.

KESIMPULAN

Penggunaan variasi konsentrasi pelarut asam berupa HCl pada saat proses perendaman berpengaruh terhadap rendemen

yang dihasilkan. Rendemen gelatin tertinggi diperoleh pada perlakuan perendaman dalam HCl 7% yaitu sebesar 1,90%, dengan nilai kadar air 10,16%, kadar abu 3%, dan kadar protein 3,25%. Pengujian kadar air dan kadar abu dapat memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia No.06-3735 tahun 1995.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik (BPS). (2015). *Statistik Perdagangan Luar Negeri*. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik.
- Atma, Y., Ramdhani, H., Mustopa, A. Z., Pertiwi, M., & Maisarah, R. (2018). Karakteristik Fisikokimia Gelatin Tulang Ikan Patin (*Pangasius sutchi*) Hasil Ekstraksi Menggunakan Limbah Buah Nanas (*Ananas comosus*). *Agritech*, 38(1), 56.
- Darwin, Ridhay, Hardi, J. (2018). *Kajian Ekstraksi Gelatin Dari Tulang Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)*. *Kovalen*, 1(4), 1–15.

- Food and Agricultural Organization of the United Nations. (2004). Edible gelatin. *Combined Compendium of Food Additive Specifications*, 4(1970), 1–2.
- Fransiskha, T. (2016). Optimasi Ekstraksi Gelatin dari Tulang Ikan Tuna (*Thunnus albacares*). *Jurnal Wiyata*, 3(1), 11–16.
- Fulanah, D. (2012). Pembuatan Gelatin Dari Tulang Ikan Kakap Merah (*Lutjanus sp*). *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Univesitas Sebelas Mater. Halaman : 34.
- GMIA. (2019). GMIA, Gelatin Handbook. *Gelatin Manufacturers Institute Of America*, 27.
- Gunawan, F., Suptijah, P., & Uju. (2017). Ekstraksi Dan Karakterisasi Gelatin Kulit Ikan Tenggiri (*Scomberomorus commersonii*) Dari Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jphpi*, 2(1), 568–581.
- Hermanto, S., Hudzaifah, M. R., & Muawanah, A. (2014). Karakteristik Fisikokimia Gelatin Kulit Ikan Sapu-Sapu (*Hyposarcus pardalis*) Hasil Ekstraksi Asam. *Jurnal Kimia Valensi*, 4(2), 109–120.
- Huda, W., Atmaka, W., & Nurhartadi, E. (2013). Kajian Karakteristik Fisik dan Kimia Gelatin Ekstrak Tulang Kaki Ayam (*Gallus gallus bankiva*) dengan Variasi Lama Perendaman dan Konsentrasi Asam. *Jurnal Teknosains Pangan*, 2(3), 70–75.
- Iqbal, C., & Anam, A. R. (2015). Optimasi Rendemen Dan Kekuatan Gel Gelatin Ekstrak Tulang Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus sp*). *Teknosains Pangan*, IV(4), 8–15.
- Junianto, Haetami, K. & Maulina, I. (2006). Produksi Gelatin Dari Tulang Ikan Pembuatan Cangkang Kapsul. *Tugas Akhir*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjajaran.
- Halaman : 65.
- Nurilmala, M., Jacob, A.M., & Dzaky, R. A. (2017). Karakteristik Gelatin Kulit Ikan Tuna Sirip Kuning. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2), 339–350.
- Nurmilah, S., & Mujdalipah, S. (2018). Ekstraksi Gelatin Tulang Ikan Kakap (*L. Macolor niger*) Menggunakan Metode Asam. *Skripsi*.
- Permata, Y., Widiastri, F., Sudaryanto, Y., & Anteng, A. (2016). Gelatin dari tulang ikan lele (*Clarias batrachus*): pembuatan dengan metode asam, karakterisasi dan aplikasinya sebagai thickener pada industri sirup. *Jurnal Ilmiah Widya Teknik*, 15(2), 146–152.
- Pertiwi, M., Atma, Y., Mustopa, A., & Maisarah, R. (2018). Karakteristik Fisik dan Kimia Gelatin dari Tulang Ikan Patin dengan Pre-Treatment Asam Sitrat. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 7(2), 83–91.
- Rachmania, R. A., Nisma, F., & Mayangsari, E. (2013). Ekstraksi Gelatin Dari Tulang Ikan Tenggiri Melalui Proses Hidrolisis Menggunakan Larutan Basa. *Media Farmasi*, 10(2), 18–28.
- Rahmawati, H., & Pranoto, Y. (2012). Rendemen dan Komposisi Proksimat Gelatin Kulit Ikan Belut dan Lele Pada Keadaan Segar dan Kering. *Fish Scientiae*, 2(4), 111–123.
- Ridhay, A., Musafira, M., Nurhaeni, N., Nurakhirawati, N., & Khasanah, N. B. (2016). Pengaruh Variasi Jenis Asam Terhadap Rendemen Gelatin Dari Tulang Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*). *Kovalen*, 2(2).
- Samosir, Idiawati, L. D. (2018). Ekstraksi Gelatin Ddari Kulit Ikan Toman (*Channa micropelthes*) Dengan Variasi Konsentrasi Dari Asam Asetat. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(3), 104–108.

- Saputra, R., Widiastuti, I., & Supriadi, A. (2015). Karakteristik Fisik Dan Kimia Gelatin Kulit Ikan Patin (*Pangasius Pangasius*) Dengan Kombinasi Berbagai Asam Dan Suhu. *Fishtech*, 4(1), 29–36.
- Suptijah, P., Suseno, S. H., & Anwar, C. (2013). analisis kekuatan gel (gel strength) produk permen jelly dari gelatin kulit ikan cucut dengan penambahan karaginan dan rumput laut. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 16(2), 183–191.
- Suryanti, Hadi, S., & Peranginangin, R. (2006). Ekstraksi Gelatin dari Tulang Ikan Kakap Merah (*Lutjanus* sp) Secara Asam. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 1(1), 27–34.
- Windarto, S., Hastuti, S., Subandiyono, Nugroho, R., & Serjito, S. (2019). Performa Pertumbuhan Ikan Kakap Putih (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) YANG Dibudidayakan dalam Sistem Keramba Jaring Apung (KJA). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*, 3(1), 56–60.

KOMPONEN KIMIA KAYU TRUBUSAN JATI UNGGUL NUSANTARA (*Tectona grandis* Linn.f.) PADA BAGIAN PANGKAL, TENGAH DAN UJUNG

Fathia Maulida¹⁾, Kustin Bintani Meiganati^{2)*}, dan Mamay Maslahat¹⁾

¹⁾Program Studi Kimia FMIPA Universitas Nusa Bangsa Bogor

Jl. K.H. Sholeh Iskandar Km. 4 Cimanggu Tanah Sareal, Bogor 16166

²⁾Program Studi Kehutanan, Universitas Nusa Bangsa Bogor

Jl. K.H. Sholeh Iskandar Km. 4 Cimanggu Tanah Sareal, Bogor 16166

*e-mail : kb1nt41n1.m31@gmail.com

ABSTRACT

Chemical Component of Copies Superior Teak (Tectona grandis Linn.f) in Base, Center and Edge Stem

Teak (Tectona grandis, Linn. f) is one of the plants that is able to make a real contribution in providing wood raw materials in the timber industry. The limited availability of quality teak wood on the market so that the craftsmen use superior teak wood. The amount of the superior teak wood has not been known yet. Therefore, a study was carried out on the level of wood chemical components of five-year-old superior teak wood based on the height of the stem (base, middle and end), so that the suitability of wood usage can be known. Based on the results of the study the levels of chemical components in wood superior teak of age five years, the highest levels of extractive substances found at the end of the stem by 8.56%, the highest percentage of levels of holocellulose and cellulose found in the middle part of the stem with a content of 63.95% and 39.99%, the percentage of hemicellulose content 29.66% and the highest percentage of lignin content found in the base part with levels of 30.52%. This superior teak wood can be used as construction materials such as plywood, woodworking wood, lamina wood and artificial boards.

Keyword: Tectona grandis, Thrubus, Extractive Substances, Holocellulose, Cellulose, Lignin.

ABSTRAK

Tanaman Jati (*Tectona grandis, Linn. f*) merupakan tanaman yang berkontribusi di bidang industri perikanan. Terbatasnya ketersediaan kayu jati berkualitas di pasaran mengakibatkan industri perikanan menggunakan kayu jati unggul. Kayu trubusan jati unggul tersebut belum diketahui bagaimana komponen kimianya. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai kadar komponen kimia kayu trubusan jati unggul yang berumur lima tahun berdasarkan ketinggian batang (pangkal, tengah dan ujung), sehingga dapat diketahui kesesuaian penggunaan kayu. Berdasarkan hasil penelitian kadar komponen kimia pada kayu trubusan jati unggul umur lima tahun, rata-rata kadar zat ekstraktif tertinggi terdapat pada bagian ujung batang sebesar 8,56%, persentase tertinggi kadar holoselulosa dan selulosa terdapat pada bagian tengah batang dengan kadar 63,95% dan 39,99%, persentase kadar hemiselulosa 29,66%, dan persentase tertinggi kadar lignin terdapat pada bagian pangkal dengan kadar 30,52%. Kayu trubusan jati unggul ini dapat digunakan sebagai bahan konstruksi seperti kayu lapis, kayu pertukangan, kayu lamina dan papan buatan.

Kata Kunci: *Tectona grandis, Thrubus, Zat Ekstraktif, Holoselulosa, Selulosa, Lignin.*

PENDAHULUAN

Jati dikenal sebagai tanaman yang menghasilkan kayu. Jati digunakan sebagai bahan baku kayu di bidang industri perikanan. Kayu jati digunakan sebagai bahan dasar bangunan rumah, bantalan rel kereta api, *fancy wood*, mebel dan berbagai kebutuhan bangunan rumah (Pudjiono, 2014). Semakin menurunnya ketersediaan

kayu jati berkualitas di pasaran menyebabkan industri perikanan menggunakan kayu jati unggul (kayu ini banyak ditanam masyarakat dengan pertumbuhan yang cepat). Keunggula jati cepat tumbuh yaitu tegakannya dapat ditebang pada umur 5 tahun. Jati ini berasal dari tegakan muda di bawah umur 10 tahun. Jati ini dikembangkan dari induk yang sudah dipilih dan diperbanyak dengan

memanfaatkan teknik kultur jaringan. Setelah ditebang, tunggak dipelihara sehingga tumbuh trubusan. Trubusan merupakan tunas yang tumbuh dari tegakan yang telah ditebang. Jati unggul yang dihasilkan, diharapkan memiliki keunggulan komparatif berdaur pendek kurang lebih 15 tahun, sedikit cabang, batang lurus dan silindris (Krisdianto dan Sumarni, 2006). Kayu trubusan jati unggul tersebut belum diketahui besar kandungan komponen-komponen kimianya. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai kadar komponen kimia kayu trubusan jati unggul yang berumur lima tahun berdasarkan ketinggian batang (pangkal, tengah dan ujung), sehingga dapat diketahui kesesuaian penggunaan kayunya.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan yaitu sampel berupa tiga batang pohon trubusan jati unggul nusantara umur lima tahun yang diambil dari tiga bagian batang, yaitu bagian pangkal, tengah dan ujung, air suling, natrium hipoklorit (NaClO), asam sulfat (H_2SO_4), natrium sulfit (Na_2SO_3), benzena (C_6H_6), asam asetat (CH_3COOH), natrium hidroksida (NaOH), asam nitrat (HNO_3), dan etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).

Peralatan yang digunakan yaitu peralatan gelas, aluminium foil, cawan porselen, corong, pengaduk, oven, alat penggiling *Wiley mill*, penangas air, desikator, alat ekstraksi *Soxhlet* dan timbangan analitik.

Metode

Metode penelitian yang digunakan mengacu pada standar *Technical Association of The Pulp and Paper Industry* (TAPPI), yang terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pengambilan sampel, persiapan bahan baku (TAPPI T 257 os-76), pengukuran kadar air, pengukuran kadar zat ekstraktif yang terlarut dalam etanol-benzena 1:2 (TAPPI T 204 om-88), pengukuran kadar

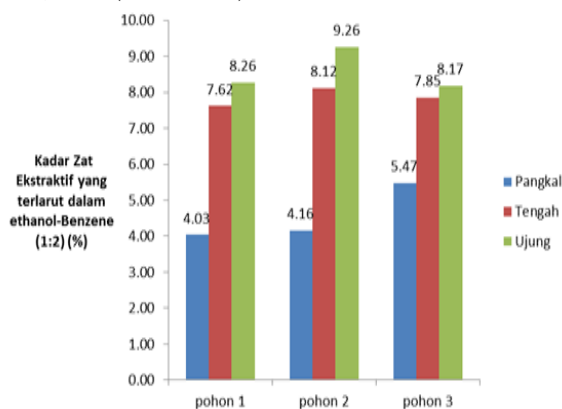
holoselulosa (TAPPI T 9 m-54), pengukuran kadar selulosa (TAPPI 17 m-55), pengukuran kadar hemiselulosa, dan pengukuran kadar lignin (TAPPI T 13 os-54).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kayu jati yang dipakai pada penelitian ini merupakan kayu trubusan jati unggul nusantara berumur lima tahun dari trubusan pertama yang diambil dari induk kayu jati terpilih dan diperbanyak menggunakan kultur jaringan. Kayu jati tersebut berwarna abu-abu kecokelatan dengan rata-rata diameternya 13 cm, memiliki tekstur kayu agak kasar dan permukaan kayu yang relatif licin.

Kadar Zat Ekstraktif yang Terlarut dalam Etanol-Benzena (1:2)

Penentuan kadar zat ekstraktif pada kayu trubusan jati unggul dilakukan dengan metode kelarutan zat ekstraktif pada campuran pelarut organik dalam etanol-benzena (1:2). Pelarut campuran etanol-benzena dapat melarutkan zat ekstraktif yang bersifat polar sampai nonpolar, karena pelarut tersebut mengandung etanol yang bersifat polar dan benzena yang bersifat nonpolar. Persentase kelarutan zat ekstraktif pada sampel kayu trubusan jati unggul dalam etanol-benzena (1:2) berkisar 4,03% - 9,26% (Gambar 1)

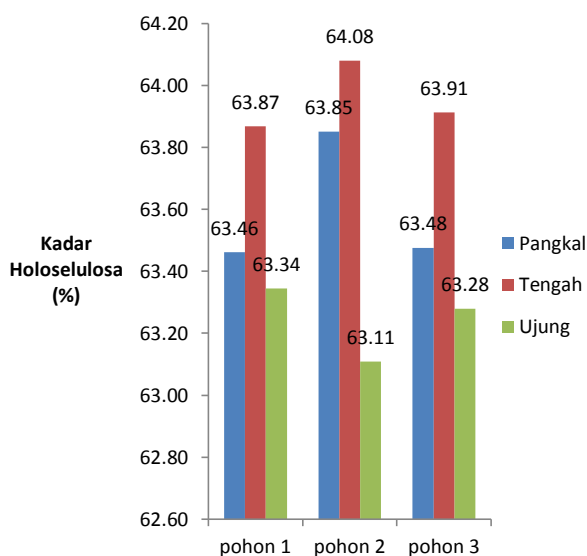


Gambar 1. Kadar Zat Ekstraktif Bagian Pangkal, Tengah dan Ujung Pohon.

Keberadaan zat ekstraktif (resin, minyak dan lain-lain) dalam industri pengolahan kayu dapat mengurangi efisiensi pemutihan dan dapat mengakibatkan pemakaian bahan kimia berlebih. Pada industri kertas, zat ekstraktif menimbulkan bintik hitam. selain itu, besarnya zat ekstraktif juga dapat membentuk lapisan penghalang pada permukaan antar kayu dengan bahan perekat dalam pembuatan perekat kayu lapis.

Kadar Holoselulosa

Kayu terdiri dari holoselulosa yang merupakan polisakarida gabungan selulosa dan hemiselulosa. Kadar holoselulosa dari bagian pangkal sampai ke ujung pohon pada kayu mempunyai rentang nilai yang berkisar antara 40% sampai 80 % (Panshin dan de Zeeuw, 1980). Persentase kadar holoselulosa pada sampel kayu trubusan jati unggul bagian pangkal, sampai ke ujung yang didapatkan berkisar 63,11%-64,08%. Hasil dari pengujian kadar holoselulosa dapat dilihat pada Gambar 2.



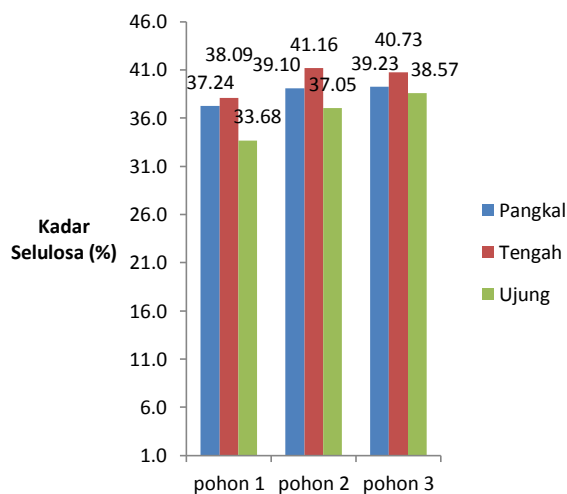
Gambar 2. Kadar Holoselulosa pada Bagian Pangkal, Tengah dan Ujung Pohon.

Persentase holoselulosa pada batang kayu jati yang tinggi yaitu pada bagian tengah batang. Kadar holoselulosa dari bagian pangkal, tengah dan ujung batang memiliki kadar yang bervariasi. Tingginya

kadar holoselulosa pada bagian tengah ini diduga karena adanya pengaruh jaringan kolenkim. Dinding sel kolenkim mengandung pektin dan holoselulosa. Dinding sel kolenkim mengalami penebalan secara tidak menyeluruh (sisi atau ketinggian tertentu) pada dinding primer. Sel-sel kolenkim batang pohon jati mengalami penebalan pada dinding sisi tangensialnya tetapi tidak pada sisi atasnya. Kadar holoselulosa yang tinggi dapat memberikan salah satu gambaran bahwa potensi rendemen *pulp* yang dihasilkan akan tinggi.

Kadar Selulosa

Homopolisakarida dengan ikatan glikosida antara unit β -D-glukopiranosida merupakan selulosa (Sjostrom, 1998). Persentase selulosa pada sampel kayu trubusan jati unggul bagian pangkal, sampai keujung berkisar 37,05%- 41,16% (Gambar 3).



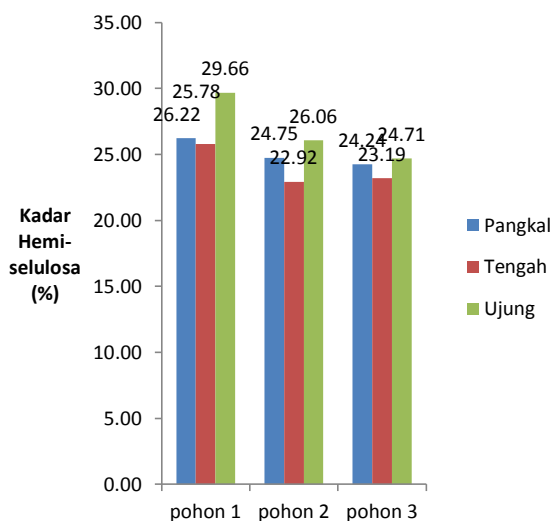
Gambar 3. Kadar Selulosa pada Bagian Pangkal, Tengah dan Ujung Pohon.

Distribusi selulosa pada batang kayu jati memiliki kecenderungan tinggi pada bagian tengah batang. Hal tersebut diduga karena selulosa merupakan salah satu unit penyusun holoselulosa, sehingga distribusi kadarnya pada kayu jati sama dengan holoselulosa.

Kadar Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan heteropolisakarida yang terdiri dari D-glukosa, D-

manosa, D-galaktosa, D-xilosa, L-arabinosa, asam 4-O-metil-D-glukoranat, asam D-glukoranat dan D-galakturonat. Kadar hemiselulosa diperoleh dari selisih antara kadar holoselulosa dan selulosa. Persentase kadar hemiselulosa pada sampel kayu trubusan jati unggul bagian pangkal, sampai ke ujung berkisar 22,92% - 29,66%. Hasil dari pengujian kadar hemiselulosa dapat dilihat pada Gambar 4.



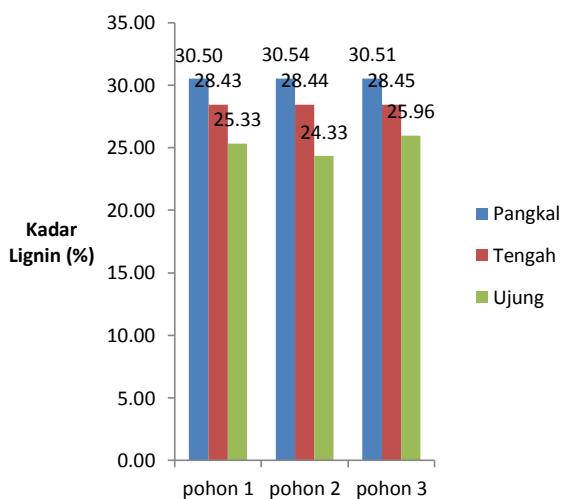
Gambar 4. Kadar Hemiselulosa pada Bagian Pangkal, Tengah dan Ujung Pohon.

Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan Sjostrom (1998) yang mengemukakan bahwa jumlah hemiselulosa dari berat kering kayu biasanya berkisar antara 20 - 30%. Hemiselulosa yang mengandung semacam gugus heksauronat dalam pembuatan *pulp* dan kertas akan memberikan sifat-sifat hidrolisis kepada serat-serat *pulp* yang dapat meningkatkan derajat penggilingan (*beating pulp*), serta dapat memperbaiki sifat keteguhan tarik kertas (*tensile strength*), keteguhan jebol (*burst strength*) pada kertas. Di sisi lain hemiselulosa juga diduga dapat menghilangkan kecerahan *pulp* dalam proses pemeraman (Supartini, 2009).

Kadar Lignin

Lignin merupakan polifenol yang memiliki banyak cabang dengan struktur tiga dimensi. Lignin tidak tersebar secara merata pada keseluruhan kayu berdasarkan letak ketinggian kayu. Persentase kadar lignin pada sampel kayu trubusan jati unggul bagian pangkal, sampai ke ujung berkisar 24,33% - 30,54%. Hasil dari pengujian kadar lignin dapat dilihat pada Gambar 5.

Lignin bukan merupakan senyawa golongan karbohidrat namun bergabung dengan selulosa pada kayu, biasanya pada lamella tengah dan dinding sel (Sjostrom, 1998). Berdasarkan Gambar 5., distribusi kandungan lignin pada kayu jati mempunyai kecenderungan untuk menurun dari bagian pangkal ke bagian ujung. Kerapatan kayu bagian pangkal lebih tinggi dan telah mengalami lignifikasi. Hal ini menjadikan lignin juga ada pada dinding sel primer dan sekunder. Dinding sel yang belum terjadi lignifikasi mengalami pengerutan yang besar (Tsoumis, 1991). Pada bagian pangkal, lignin yang terkandung lebih banyak karena posisi kandungan tersebut berada di lamella tengah dengan konsentrasi lignin yang tinggi.



Gambar 5. Kadar Lignin pada Bagian Pangkal, Tengah dan Ujung Pohon.

Tabel 1. Komponen kimia kayu tertinggi pada bagian batang kayu Jati Unggul Nusantara.

Komponen Kimia Kayu Tertinggi	Bagian Batang Kayu Jati		
	Pangkal	Tengah	Ujung
	Lignin	Holoselulosa dan Selulosa	Zat Ekstraktif

Menurut Direktorat Jenderal Kehutanan (1970), persentase kandungan lignin pada kayu ini termasuk kategori sedang yaitu 18% - 33%. Kandungan lignin kategori sedang ini dapat digunakan sebagai bahan konstruksi seperti kayu lapis, kayu pertukangan, kayu lamina, papan buatan dan sebagainya. Dengan bertambahnya kandungan lignin dalam sel akan menimbulkan kekuatan mekanik kayu (Haygreen dan Bowyer, 1996). Komponen kimia kayu memiliki peran penting dalam industri perkayuan. Komponen kimia kayu tertinggi pada bagian batang kayu jati unggul nusantara ditampilkan pada Tabel 1.

Rata-rata kadar komponen kimia yang didapatkan penelitian ini pada bagian pangkal, tengah dan ujung kayu, kadar selulosa termasuk kategori rendah, sedangkan kadar ligninnya termasuk kategori sedang dan kadar ekstraktif pada bagian ini termasuk kategori tinggi. Oleh karena itu, kayu Jati Unggul Nusantara ini dapat digunakan sebagai bahan konstruksi seperti kayu lapis, kayu pertukangan, kayu lamina dan papan buatan, tetapi tidak baik untuk digunakan sebagai bahan baku *pulp* dan karena memiliki kadar lignin yang sedang dan zat ekstraktifnya yang tinggi tetapi kadar holoselulosa yang sedang.

KESIMPULAN

Kadar komponen kimia pada kayu trubusan jati unggul umur lima tahun berdasarkan ketinggian batang, persentase tertinggi kadar zat ekstraktif terdapat pada bagian ujung batang, batang sebesar 8,56%, persentase tertinggi kadar holoselulosa dan selulosa terdapat pada bagian tengah batang dengan kadar 63,95% dan 39,99%, persentase kadar hemiselulosa 29,66% dan persentase tertinggi kadar lignin terdapat pada bagian pangkal dengan kadar 30,52%. Kayu trubusan Jati Unggul Nusantara dapat digunakan sebagai bahan konstruksi seperti kayu lapis, kayu pertukangan, kayu lamina dan papan buatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan. (2008). Identifikasi Asal-usul Bibit Jati. Leaflet. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Yogyakarta
- Jenderal Kehutanan. (1996). Vademecum Kehutanan Indonesia. Direktorat Jenderal Kehutanan Departemen Pertanian. Jakarta.
- Fengel dan Wegener. (1995). *Kayu : Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi*. Walter de Gruyter & Co, penerjemah. Gadjah Mada University Press. Terjemahan dari: Wood: Chemistry, Ultrastucture, Reactions. Yogyakarta.
- Haygreen, J.G. dan Bowyer, J.L. (1996). *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu Suatu Pengantar*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Krisdianto dan Sumarni. (2006). Perbandingan Persentase Volume Teras Kayu Jati Cepat Tumbuh dan Konvensional Umur 7 Tahun Asal Panajan Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24 (5), 385-394.
- Pudjiono, S. (2014). *Produksi Bibit Jati Unggul (Tectona grandis L.f.) dari Klon dan Budidayanya*. IPB Press. Jakarta.
- Sjostrom, E. (1998). *Kimia Kayu Dasar-Dasar Penggunaan*. Edisi Kedua. Hardjono S, penerjemah; Soenardi P, editor. Gadjah Mada University Press. Terjemahan dari: Wood Chemistry: Fundamentals and Applications. Yogyakarta.
- Soenardi. (1976). *Sifat-sifat Kimia Kayu*. Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Supartini. (2009). *Komponen Kimia Kayu Meranti Kuning (Shorea macrobalanos)*. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 3 (1).

TAPPI. (1990). *TAPPI Test Methods 1991*. Atlanta. TAPPI. Press.

Tsoumis, G. (1991). *Science and Technology of Wood*. Department of forest and Wood Science.

PRESIPITASI LOGAM BERAT LIMBAH CAIR LABORATORIUM MENGGUNAKAN NATRIUM SULFIDA DARI BELERANG ALAM

Wisni Rona Anami, Mamay Maslahat, Dian Arrisujaya*
Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Nusa Bangsa,
Jl. Sholeh Iskandar Km 4, Tanah Sareal, Bogor 16166, Indonesia
*e-mail: arrisujaya@unb.ac.id

ABSTRACT

Precipitation of Laboratory Wastewater Heavy Metals by Natural Sulphur Sodium Sulfide

Sodium sulfide (Na_2S) from natural sulfur has been used for heavy metal precipitation from laboratory wastewater. Heavy metals in laboratory wastewater include mercury (Hg), lead (Pb), chromium (Cr) and zinc (Zn). Initial laboratory wastewater testing was performed by measuring the initial pH and the concentration of heavy metals in the wastewater prior to precipitation using the atomic absorption spectrophotometer. Sulfide precipitation phase consists of variations in the concentration of NaOH, time, temperature, and volume of dissolving Na_2S . Parameters for the efficiency of Hg, Pb, Zn and Cr heavy metal precipitation were the initial pH, concentration and rate of stirring of the solution. Results showed that the optimum precipitation efficiency for Zn is achieved by using 10 % Na_2S solution with an efficiency of 97.93 %. The most significant reduction in Cr and Hg was the use of 20 % Na_2S solution with a precipitation efficiency of 99.24 % and 99.76 % respectively. The optimal efficiency for Pb with a 30 % Na_2S solution was 99.68 %. Natural sulfur can reduce the levels of heavy metals in laboratory wastewater by precipitation.

Key words: Natural sulfur, Heavy metals, Precipitation, Sodium sulfide,

ABSTRAK

Presipitasi logam berat dari limbah cair laboratorium telah dilakukan dengan menggunakan natrium sulfida (Na_2S) dari belerang alam. Logam berat yang terkandung dalam limbah cair laboratorium diantaranya adalah merkuri (Hg), timbal (Pb), kromium (Cr) dan seng (Zn). Pengujian awal limbah laboratorium dilakukan dengan mengukur pH awal dan kadar logam berat yang terdapat dalam limbah sebelum presipitasi menggunakan pH meter dan spektrofotometer serapan atom. Tahapan presipitasi limbah oleh sulfida meliputi pembuatan variasi konsentrasi NaOH, waktu, suhu, dan volume pelarutan Na_2S . Parameter efisiensi presipitasi logam Hg, Pb, Zn, dan Cr meliputi pH, Konsentrasi dan Kecepatan pengadukan. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi pengendapan optimal untuk logam Zn terdapat pada penggunaan larutan Na_2S 10% dengan efisiensi 97,93%. Larutan Na_2S 20% paling banyak menurunkan logam Cr dan Hg dengan efisiensi masing-masing sebesar 99,24% dan 99,76%. Efisiensi optimal untuk logam Pb berada pada penggunaan larutan Na_2S 30% dengan efisiensi 99,68%. Belerang alam mampu menurunkan kadar logam berat dalam limbah cair laboratorium dengan metode presipitasi.

Kata kunci: Belerang alam, Logam berat, Presipitasi, Natrium sulfida

PENDAHULUAN

Limbah cair laboratorium mengandung kontaminan dari residu bahan baku, residu pelarut, limbah produk, pencucian dan pembilasan peralatan, serta sisa hasil analisis dari laboratorium itu sendiri. Salah satu bahan cemaran yang terdapat dalam limbah laboratorium adalah logam berat seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), kromium (Cr) dan seng (Zn). Logam berat diklasifikasikan sebagai limbah B3 yang pada kadar tertentu dapat membahayakan lingkungan sekitar karena beracun bagi

hewan dan manusia (La Grega, 2001). Sumber limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) terdiri dari sumber mayor seperti contohnya limbah industri dan minor dengan contohnya adalah limbah dari laboratorium riset dan komersial yang ada umumnya limbah berbentuk cair (Sidik dan Damanhuri, 2012).

Logam berat bersifat toksik karena tidak dapat didegradasi oleh organisme di lingkungan (Widowati *et al*, 2008). Urutan toksisitas logam berat yang menimbulkan gangguan kesehatan manusia adalah $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{Ag} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cr} > \text{Sn} > \text{Zn}$

(Munfarida, 2016). Logam berat yang masuk ke lingkungan atau masuk ke dalam tubuh manusia tidak dapat dihancurkan, namun tetap akan menumpuk dan mencemari lingkungan atau meracuni tubuh manusia. (Lusiani, 2011). Kandungan logam berat dalam limbah harus di bawah nilai ambang batas yaitu untuk Hg 0,002 mg/L, Pb 0,1 mg/L, Zn 5 mg/L, dan Cr 0,5 mg/L berdasarkan Peraturan menteri lingkungan hidup nomor 5 tahun 2014.

Salah satu cara untuk menurunkan kadar logam berat adalah dengan cara presipitasi. Penggunaan proses presipitasi adalah untuk menciptakan kondisi di mana terdapat padatan yang tidak dapat larut (Ismayana, 1997). Ada beberapa metode presipitasi logam yaitu pengendapan oleh hidroksida, sulfida dan karbonat. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan (Andaka, 2008). Metode hidroksida dan karbonat lebih sederhana dan lebih ekonomis dengan menggunakan pH yang lebih spesifik (Amer, 1998). Akan tetapi, endapan yang terbentuk sangat kecil, dan koagulan masih perlu ditambahkan untuk membentuk endapan yang lebih besar, sehingga proses pengurangan kandungan logam dapat ditingkatkan (Andaka, 2008).

Metode presipitasi menggunakan sulfida seperti natrium sulfida (Na_2S) yang ditambahkan secara bertahap ke air limbah untuk membentuk logam sulfida yang tidak mudah larut. Belerang di alam terdapat sebagai unsur murni atau sebagai mineral-mineral sulfida seperti FeS_2 , PbS , ZnS , dan sebagai sulfat $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Urutan kecepatan pengendapan sulfida berdasarkan nilai Ksp yaitu HgS (1×10^{-54}), PbS (1×10^{-28}), ZnS (1×10^{-23}), dan Cr_2S_3 (1×10^{-20}). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kelarutan yaitu suhu, pH, sifat pelarut, efek ion sejenis, pengaruh aktivasi, pengaruh hidrolisis dan efek kompleks (Day dan Underwood, 2002).

Metode presipitasi dipilih untuk menurunkan kadar logam berat karena memiliki beberapa keunggulan yaitu penanganan yang mudah, konsentrasi akhir yang rendah, biaya yang relatif murah dan bahan-bahan presipitan yang digunakan juga

mudah diperoleh (Handoko *et al.*, 2013). Na_2S dipilih sebagai agen presipitan dalam presipitasi sulfida karena efisiensinya yang tinggi dan stabilitasnya yang lebih baik (Hagemann *et al.*, 2014).

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi bahan uji dan bahan kimia. Bahan uji yang digunakan adalah belerang dan limbah laboratorium. Bahan kimia yang digunakan adalah larutan penyangga pH, NaOH 10, 20 dan 30%, HNO_3 67%. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas, neraca analitik, magnetic stirrer, pH meter (HANNA HI 83141), Spektrofotometer Serapan Atom (GBC Avanta), Spektrofotometer Serapan Atom (GBC Hg 3000), hotplate, dan kertas saring 0,45 μm .

Optimum Pembuatan Larutan Na_2S

Konsentrasi NaOH optimum terhadap waktu pelarutan Na_2S

Belerang yang telah dihaluskan dengan ukuran 30 mesh ditimbang sebanyak 10, 20 dan 30 gram masing-masing sebanyak tiga kali ulangan. Kemudian dilarutkan ke dalam NaOH dengan konsentrasi 10, 20, dan 30%. Larutan ini merupakan larutan Na_2S dengan konsentrasi 10, 20, dan 30%. Pelarutan dilakukan dengan pemanasan di atas hotplate pada suhu 100°C sambil diaduk dengan batang pengaduk dan dicatat waktu pelarutan Na_2S . Kondisi optimal pelarutan dilihat dari penggunaan konsentrasi NaOH yang dapat melarutkan belerang paling cepat untuk masing-masing konsentrasi Na_2S 10, 20, dan 30%.

Kondisi suhu optimum pelarutan Na_2S

Belerang yang telah dihaluskan dengan ukuran 30 mesh ditimbang sebanyak 10, 20, dan 30 gram masing-masing sebanyak tiga kali ulangan kemudian dilarutkan ke dalam NaOH yang memberikan waktu pelarutan paling cepat pada percobaan pertama, larutan ini menghasilkan Na_2S dengan konsentrasi 10, 20, dan 30%. Setelah itu

larutan Na₂S 10% dipanaskan pada suhu 80, 100, dan 120 °C. Begitu juga dengan larutan Na₂S 20 dan 30%. Kondisi optimum suhu dilihat dari suhu yang dapat melarutkan paling cepat pada konsentrasi Na₂S 10, 20, dan 30%.

Konsentrasi NaOH optimum terhadap volume penambahan larutan Na₂S

Belerang yang telah dihaluskan dengan ukuran 30 mesh ditimbang sebanyak 10, 20, dan 30 gram masing-masing sebanyak tiga kali. Kemudian dilarutkan ke dalam NaOH 10, 20, dan 30%. Larutan ini memiliki konsentrasi Na₂S sebesar 10, 20, dan 30%. Setelah itu larutan Na₂S ini ditambahkan ke dalam 250 mL sampai mencapai pH optimal proses presipitasi sulfida yaitu 10. Dicatat konsentrasi NaOH yang memberikan volume penambahan paling sedikit untuk masing- masing konsentrasi Na₂S.

Optimasi efisiensi presipitasi

Pengaruh konsentrasi Na₂S dan pH terhadap efisiensi presipitasi

Larutan Na₂S dengan konsentrasi 10% ditambahkan ke dalam 250 mL sampel limbah laboratorium sampai pH akhir mencapai 5 sambil dilakukan pengadukan dengan kecepatan 40 rpm. Hal yang sama dilakukan untuk pH akhir 7 dan 10 dengan konsentrasi Na₂S yang sama. Langkah tersebut diulangi untuk Na₂S dengan konsentrasi 20 dan 30%. Endapan yang terbentuk dibiarkan turun, lalu filtratnya disaring dan diukur kadar logam Hg, Pb, Zn, dan Cr. Sebelum analisis dilakukan destruksi untuk menghilangkan atau memisahkan kandungan ion lain.

Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Efisiensi Presipitasi

Sampel limbah cair laboratorium yang telah ditambahkan larutan Na₂S 30% yang dibuat hingga pH akhir mencapai 10 dilakukan variasi kecepatan pengadukan. Kecepatan pengadukan yang digunakan mulai dari 40, 70, dan 100 rpm. Kemudian diukur konsentrasi logam Hg, Pb, Zn dan Cr dengan menggunakan spektrofotometri

serapan atom dan dihitung efisiensi presipitasinya.

Perhitungan efisiensi presipitasi logam berat

Efisiensi presipitasi logam berat Hg, Pb, Zn dan Cr dalam limbah laboratorium lngkungan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$%E = \frac{Co - Ci}{Ci} \times 100\%$$

Keterangan:

Co : Konsentrasi logam awal

Ci : Konsentrasi logam setelah presipitasi

%E : Efisiensi presipitasi logam

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Logam Berat

Pengujian pH limbah logam berat laboratorium diukur dengan menggunakan pH meter, sedangkan kadar logam berat diukur dengan menggunakan spektrofotometri serapan atom. Logam Hg dianalisa kadarnya menggunakan spektrofotometri serpan atom uap dingin, sedangkan logam Pb, Zn, dan Cr dianalisa kadarnya menggunakan spektrofotometri serapan atom metode nyala. Kadar logam Hg, Pb, Zn, dan Cr setelah dianalisa kemudian dibandingkan dengan baku mutu yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014 lampiran XLVII. Kadar logam yang diukur kadarnya adalah merkuri (Hg), timbal (Pb), seng (Zn), dan kromium (Cr). Hasil dari pengujian awal limbah laboratorium dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kondisi Awal Limbah Laboratorium Sebelum Presipitasi

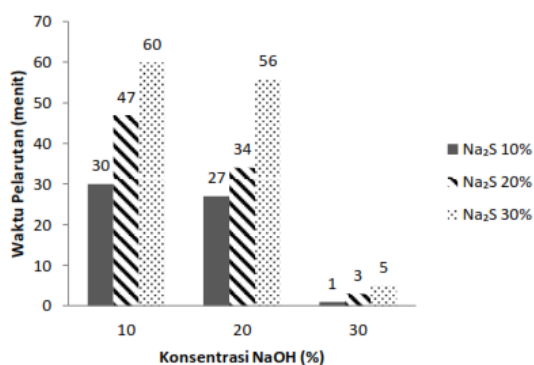
Parameter	Nilai	Baku Mutu	Satuan
pH	2	6-9	-
Merkuri (Hg)	74,192	0,002	mg/L
Seng (Zn)	17,718	5	mg/L
Timbal (Pb)	210,451	0,1	mg/L
Kromium (Cr)	57,427	0,5	mg/L

Tabel 1. menunjukkan kondisi awal limbah laboratorium sebelum dilakukan presipitasi. pH limbah laboratorium berada pada kondisi asam yaitu pH 2. Limbah dengan pH asam tidak boleh langsung dibuang ke perairan. Namun kondisi pH yang asam ini merupakan kondisi yang sesuai untuk memulai proses presipitasi. Proses presipitasi paling baik dilakukan pada kondisi pH 2-3 karena pada pH tersebut logam memiliki kelarutan yang tinggi dan dalam keadaan bebas sehingga mungkin diendapkan (Lusiani, 2011). Logam berat pada limbah laboratorium sebelum presipitasi memiliki kadar yang tinggi dan melebihi baku mutu yang ditetapkan.

Dari data yang diperoleh pada Tabel 1, dapat dilihat urutan kadar logam berat dalam limbah laboratorium dari paling tinggi hingga paling rendah adalah logam timbal (Pb), merkuri (Hg), seng (Zn) dan terakhir logam kromium (Cr). Sumber pencemar logam berat tersebut berasal dari sisa penggunaan bahan baku, sisa-sisa pengujian maupun sisa-sisa dari pencucian peralatan (Lusiani, 2011).

Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Waktu Pelarutan Na₂S

Efisiensi presipitasi metode sulfida dan hidroksida lebih baik daripada metode karbonat untuk mereduksi kandungan logam Cr, Ni dan Zn pada limbah industri elektroplating (Naim *et. al.*, 2010). Hasil pengaruh variasi konsentrasi NaOH terhadap waktu pelarutan Na₂S disajikan dalam Gambar 1.

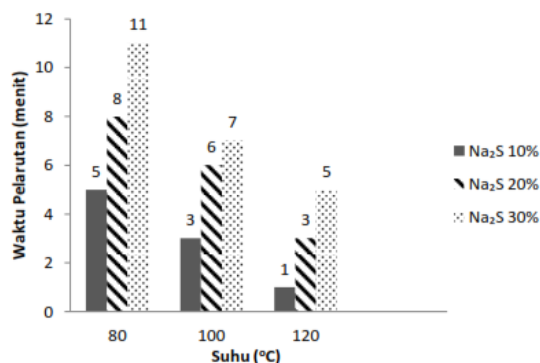


Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Waktu Pelarutan Na₂S

Konsentrasi NaOH sangat berpengaruh terhadap waktu pelarutan Na₂S. Semakin besar konsentrasi NaOH yang digunakan maka semakin sedikit waktu yang diperlukan untuk melarutkan belerang. Rata-rata waktu pelarutan paling cepat terdapat pada penggunaan konsentrasi NaOH 30%. Pembuatan larutan Na₂S yang berbeda, membutuhkan waktu pelarutan yang berbeda pula dengan penggunaan konsentrasi NaOH yang sama. Semakin tinggi konsentrasi Na₂S yang dibuat, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk pelarutan.

Pengaruh Variasi Suhu terhadap Waktu Pelarutan Na₂S

Variasi suhu juga dibutuhkan untuk melihat efisiensi waktu pembuatan larutan Na₂S. Semakin tinggi suhu yang digunakan, maka semakin sedikit pula waktu yang dibutuhkan untuk melarutkan suatu bahan (Cucikodana, 2012). Hasil pengaruh variasi terhadap waktu pelarutan disajikan dalam Gambar 2.

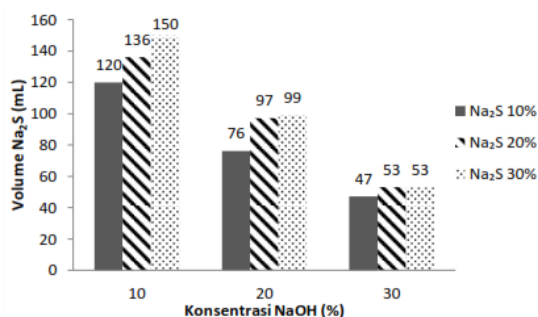


Gambar 2. Pengaruh Variasi Suhu terhadap Waktu Pelarutan Na₂S

Semakin tinggi suhu yang digunakan, maka semakin sedikit waktu yang diperlukan untuk melarutkan. Rata-rata waktu pelarutan paling cepat terdapat pada penggunaan suhu tertinggi yaitu 120 °C. Waktu yang diperlukan untuk membuat larutan Na₂S dengan konsentrasi berbeda pada suhu yang sama juga berbeda. Semakin tinggi konsentrasi Na₂S yang akan dibuat maka semakin lama juga waktu yang dibutuhkan untuk melarutkan.

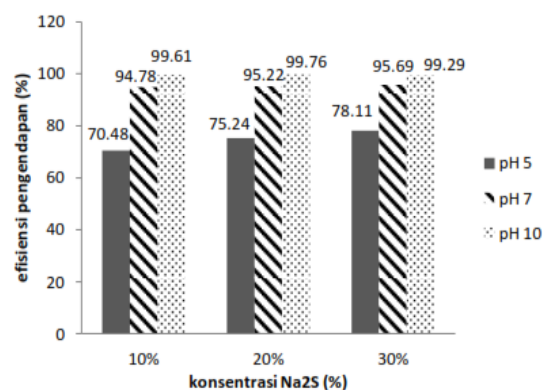
Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Volume Penambahan Na₂S

Belerang dapat larut di dalam larutan NaOH dengan disertai pemanasan dan pengadukan. Hasil pengaruh konsentrasi NaOH terhadap volume penambahan larutan Na₂S dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Volume Penambahan Na₂S

Pembuatan larutan Na₂S dilakukan disertai dengan pemanasan di atas *hotplate* karena suhu dapat mempercepat kelarutan. Dari Gambar 3. dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan maka semakin sedikit volume larutan Na₂S yang digunakan untuk mengendapkan sampel. Semakin sedikit volume Na₂S yang ditambahkan untuk mengendapkan sampel maka semakin efektif proses presipitasi yang terjadi. Konsentrasi NaOH 30% paling efektif karena volume yang ditambahkan untuk mengendapkan logam di dalam limbah laboratorium lebih sedikit dibandingkan dengan penggunaan NaOH konsentrasi 10% dan 20%.



Gambar 4. Pengaruh Konsentrasi Na₂S dan Variasi pH terhadap Efisiensi Presipitasi Hg

Pengaruh Konsentrasi Na₂S dan pH terhadap Efisiensi Presipitasi

Pengaruh Konsentrasi Na₂S dan pH terhadap Efisiensi Presipitasi Hg

Konsentrasi NaOH sebesar 30% dipilih karena paling efektif digunakan untuk melarutkan belerang. Hal tersebut dapat dilihat dari waktu pelarutan belerang yang lebih singkat dan volume penambahan larutan Na₂S yang lebih sedikit dipakai untuk mengendapkan logam. Pengaruh konsentrasi Na₂S dan variasi pH terhadap efisiensi presipitasi merkuri dapat dilihat pada Gambar 4.

Semakin tinggi konsentrasi Na₂S yang digunakan, semakin besar efisiensi presipitasi yang terjadi. Hal ini dapat disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi Na₂S, semakin banyak yang dapat bereaksi dengan logam merkuri membentuk endapan. Kecuali pada pH 10, efisiensi presipitasi tertinggi terjadi pada konsentrasi Na₂S 20% dan turun kembali pada konsentrasi Na₂S 30%. Dimungkinkan pada konsentrasi Na₂S 30% kondisi larutan sudah lewat jenuh sehingga endapan terlepas kembali. Selain pengaruh dari larutan Na₂S, endapan dapat juga terbentuk dengan ion hidroksida dikarenakan larutan Na₂S yang digunakan dibuat dengan melarutkan belerang dengan larutan NaOH. Namun endapan yang lebih dulu terbentuk adalah endapan merkuri dengan sulfida dikarenakan K_{sp} merkuri (II) sulfida lebih kecil dibandingkan K_{sp}

merkuri (II) hidroksida. Nilai Ksp HgS adalah 1×10^{-54} , sedangkan nilai Ksp untuk $\text{Hg}(\text{OH})_2$ adalah $3,6 \times 10^{-26}$. Semakin kecil nilai Ksp maka endapan semakin cepat terjadi (Khopkar, 2007). Endapan HgS yang terbentuk berwarna hitam, sedangkan endapan $\text{Hg}(\text{OH})_2$ berwarna putih. Berdasarkan nilai Ksp tersebut maka endapan yang lebih dominan terbentuk adalah endapan HgS karena nilai Ksp-nya lebih kecil dan warna endapan yang terbentuk dominan berwarna hitam.

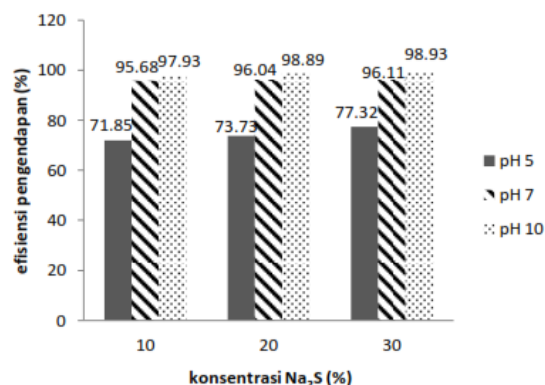
Selain konsentrasi NaS, variasi pH juga berpengaruh terhadap efisiensi presipitasi. Kondisi pH optimum terjadinya pengendapan dengan metode presipitasi sulfida adalah pada rentang pH 7-9, sedangkan pada pH lebih besar dari 9 endapan mulai larut kembali (Skants dan Jamali, 2012). Penambahan Na_2S secara bertahap akan menggeser kesetimbangan ke kanan sehingga lebih banyak endapan HgS yang terbentuk. Pada pH 9, pengendapan mencapai tingkat optimal, sebagian besar logam merkuri terendapkan dengan baik, dan pada pH di atas 9, jumlah endapan HgS mulai menurun. Hal ini dapat terjadi karena penambahan ion S^{2-} yang berlebihan berpotensi membentuk kompleks dengan endapan logam sulfida yang akan melarutkan endapan logam sulfida kembali (Fadlilah, 2018).

Pada saat pH mencapai 10 endapan masih terbentuk dan larut kembali pada pH melebihi 10. Gambar 4. menunjukkan semakin tinggi konsentrasi Na_2S yang digunakan, maka semakin tinggi efisiensi presipitasinya. Namun, penggunaan sulfida yang berlebihan dapat menyebabkan presipitat logam sulfida larut kembali sebagai kompleks polisulfida logam dalam larutan (Lewis, 2006). Pada pH 5 efisiensi presipitasi rata-rata berada di bawah 80%, pH ini merupakan pH awal terbentuknya endapan. Endapan yang terbentuk semakin banyak seiring dengan meningkatnya pH dan turun kembali saat melewati pH optimum. Endapan yang terbentuk dari presipitasi sulfida merupakan endapan hitam merkuri (II) sulfida (HgS) (Fadlilah, 2018). pH limbah laboratorium pada saat

sebelum dilakukan pengendapan berada pada pH 2. Kondisi proses presipitasi dengan sulfida optimum dimulai pada pH 2-3. Pada nilai pH ini, logam memiliki kelarutan yang tinggi dan dalam kondisi bebas sehingga dapat diendapkan (Lusiani, 2011). Nilai pH limbah laboratorium sudah sesuai untuk proses presipitasi sulfida sehingga tidak diperlukan pengkondisian lagi.

Pengaruh Konsentrasi Na_2S dan pH terhadap Efisiensi Presipitasi Zn

Logam seng dapat direduksi dengan presipitasi menggunakan sulfida karena endapan yang dihasilkan lebih stabil dan mempunyai efisiensi yang tinggi (Hagemann, 2014). Presipitasi sulfida pada percobaan ini menggunakan larutan Na_2S dengan konsentrasi berbeda dan variasi pH. Pengaruh konsentrasi Na_2S dan variasi pH terhadap efisiensi presipitasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Konsentrasi Na_2S dan Variasi pH terhadap Efisiensi Presipitasi Zn

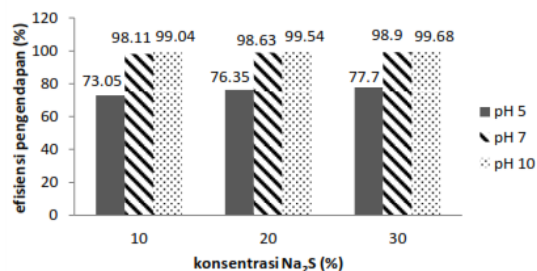
Gambar 5. menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Na_2S yang digunakan maka semakin besar efisiensi presipitasinya. Hal ini karena semakin banyak sulfida yang bereaksi dengan logam Zn membentuk endapan. Endapan yang terbentuk dimungkinkan adalah endapan seng dengan sulfida (ZnS) dan endapan seng dengan hidroksida ($\text{Zn}(\text{OH})_2$). Endapan ZnS yang terbentuk berwarna putih, sedangkan endapan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ berbentuk gelatin berwarna

putih. Endapan ZnS akan lebih dulu terbentuk dibandingkan dengan endapan Zn(OH)₂ karena nilai Ksp ZnS lebih kecil yaitu 1×10^{-23} sedangkan nilai Ksp Zn(OH)₂ sebesar 5×10^{-17} (Khopkar, 2007). Efisiensi presipitasi logam Zn paling besar terjadi pada penggunaan Na₂S dengan konsentrasi 30%. Hal ini karena semakin banyak Na₂S bereaksi dengan logam seng membentuk endapan ZnS.

Untuk logam Zn, efisiensi paling tinggi berada pada pH 10. Semakin tinggi nilai pH semakin tinggi pula efisiensi presipitasinya. Pada presipitasi dengan sulfida, pH optimum presipitasinya berada pada pH 9 (Skants dan Jamali, 2012). Pada percobaan yang dilakukan, pH optimum presipitasinya terdapat pada pH 10 karena pada pH 9 endapan masih terbentuk pada saat ditambahkan larutan Na₂S. Hasil berbeda dari Skants dan Jamali (2012) yang menyatakan pH optimum untuk terjadinya presipitasi sulfida pada pH 9. Hal ini dapat dimungkinkan karena Na₂S yang dipakai dalam presipitasi sulfida berasal dari pelarutan belerang dengan NaOH bukan dari bahan kimia Na₂S.

Pengaruh Konsentrasi Na₂S dan pH terhadap Efisiensi Presipitasi Pb

Kadar cemaran Pb dalam limbah laboratorium sangat tinggi yaitu 210,451 mg/L. Karena itu kadar logam Pb harus dikurangi sebelum dibuang ke perairan. Logam Pb dapat direduksi melalui proses presipitasi dengan menggunakan agen presipitat sulfida. Sulfida yang digunakan adalah Na₂S. Pengaruh konsentrasi Na₂S dan variasi pH terhadap efisiensi presipitasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh Konsentrasi Na₂S dan Variasi pH terhadap Efisiensi Presipitasi Pb

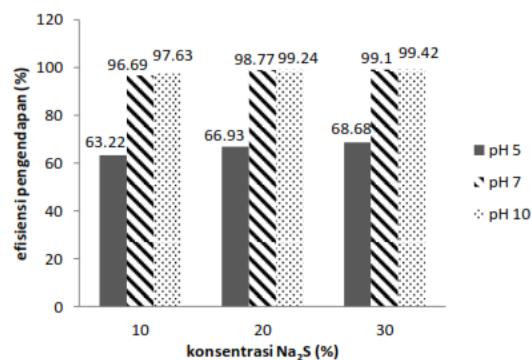
Semakin tinggi kadar Na₂S yang ditambahkan maka semakin banyak logam Pb yang dapat diendapkan. Larutan Na₂S yang digunakan untuk presipitasi sulfida dibuat dengan melarutkan belerang dengan NaOH 30%. Oleh karena itu, endapan yang mungkin terbentuk adalah endapan timbal dengan sulfida (PbS) dan endapan timbal dengan hidroksida (Pb(OH)₂). Nilai Ksp dari masing-masing endapan sangat berpengaruh terhadap kecepatan pengendapan yang terbentuk. Nilai Ksp dari PbS adalah 1×10^{-28} sedangkan nilai Ksp dari Pb(OH)₂ adalah 4×10^{-15} (Khopkar, 2007). Endapan yang terbentuk lebih dulu adalah endapan PbS karena nilai Ksp PbS lebih kecil dibandingkan dengan Pb(OH)₂. Semakin kecil nilai Ksp maka semakin cepat endapan terbentuk (Day dan Underwood, 2002). Endapan yang dominan terbentuk adalah endapan PbS dapat dilihat dari warna endapan yang dominan berwarna hitam, sedangkan endapan Pb(OH)₂ adalah endapan berwarna putih.

Nilai pH juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi presipitasi. Presipitasi dengan sulfida pH optimum presipitasinya terjadi pada pH 9 (Skants dan Jamali, 2012). Begitu pula dengan presipitasi menggunakan hidroksida pH optimumnya terjadi pada pH 9 dan akan melarut kembali apabila pH di atas 10 (Adli, 2012). Dari percobaan yang dilakukan, efisiensi presipitasi logam Pb paling tinggi terjadi pada pH 10. Pada pH kurang dari 10 pengendapan masih terjadi pada saat ditambahkan larutan Na₂S dan melarut kembali pada pH melebihi 10. pH optimum dari percobaan yang dilakukan adalah 10, sedangkan pH optimum dari referensi yang diacu adalah 9. Hasil ini berbeda bisa dikarenakan Na₂S yang digunakan tidak murni melainkan hasil modifikasi dengan cara melarutkan belerang dengan NaOH.

Pengaruh Konsentrasi Na₂S dan pH terhadap Efisiensi Presipitasi Cr

Kadar logam Cr yang terkandung dalam limbah laboratorium sangat tinggi yaitu sebesar 57,427 mg/L. Kadar ini melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh peraturan menteri lingkungan hidup nomor 5 tahun 2014 yaitu sebesar 0,5 mg/L. Presipitasi sulfida dalam percobaan ini menggunakan variasi konsentrasi Na_2S dan pH. Pengaruh konsentrasi Na_2S dan variasi pH terhadap efisiensi presipitasi dapat dilihat pada Gambar 7.

Efisiensi presipitasi paling tinggi terdapat pada penggunaan Na_2S 30% dengan nilai pH 10. Pada kondisi ini efisiensi paling tinggi yang dihasilkan adalah sebesar 99,42%. Kadar logam Cr dalam limbah laboratorium dapat dikurangi dari 57,427 mg/L menjadi 0,189 mg/L. Kadar ini sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh peraturan menteri lingkungan hidup nomor 5 tahun 2014 yaitu sebesar 0,5 mg/L. Endapan yang terbentuk dengan logam Cr adalah endapan Cr dengan sulfida dan Cr dengan hidroksida. Namun, berbeda dengan logam Hg, Pb dan Zn, endapan yang lebih dulu terbentuk dengan logam Cr adalah $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Hal ini disebabkan karena nilai K_{sp} $\text{Cr}(\text{OH})_3$ lebih kecil dari Cr dengan sulfida (Cr_2S_3). Warna endapan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ adalah hijau, sedangkan warna endapan Cr_2S_3 adalah hitam kecoklatan. Endapan yang dominan terbentuk adalah endapan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ditandai dengan larutan yang berwarna hijau keruh. Nilai K_{sp} untuk $\text{Cr}(\text{OH})_3$ adalah $6,7 \times 10^{-31}$ sedangkan nilai K_{sp} untuk Cr_2S_3 adalah 1×10^{-20} (Khopkar, 2007). Nilai pH juga berpengaruh terhadap efisiensi presipitasi. pH optimal untuk terjadinya endapan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ berada pada kisaran 8,5- 9,5, sedangkan pH optimal untuk presipitasi sulfida berada pada pH 9 (Skant dan Jamali, 2012).

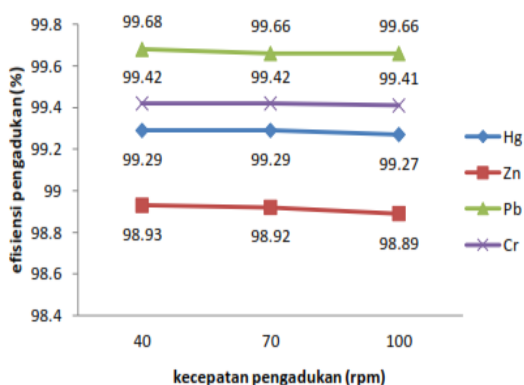


Gambar 7. Pengaruh Konsentrasi Na_2S dan Variasi pH terhadap Efisiensi Presipitasi Cr

Dari percobaan yang dilakukan didapatkan hasil efisiensi paling tinggi pada pH 10, karena pada saat pH mencapai 9 masih terjadi pengendapan ketika ditambahkan dengan larutan Na_2S . Efisiensi presipitasi paling kecil terjadi pada saat pH mencapai 6. Rata-rata efisiensi berada di bawah 70%. Hal ini dapat disebabkan karena kandungan logam Cr masih banyak terdapat di dalam limbah dan belum terendapkan secara sempurna. Ketika pH dinaikkan menjadi 7, efisiensi presipitasi juga naik karena penambahan larutan Na_2S menyebabkan lebih banyak logam Cr yang terendapkan. Namun kondisi pH ini belum optimal karena pada saat ditambahkan larutan Na_2S masih ada endapan yang terbentuk. pH mencapai optimal pada saat berada pada pH 10. Endapan yang terbentuk akan melarut kembali apabila pH larutan melebihi 10, hal ini karena ion hidroksil menjadi lebih banyak sehingga endapan melarut kembali (Asmadi, 2009).

Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Efisiensi Presipitasi

Terdapat beberapa faktor yang mendukung terhadap proses presipitasi, diantaranya adalah bahan kimia yang dipakai untuk menurunkan kadar logam berat (jenis presipitan), dosis presipitan, derajat keasaman (pH), kecepatan pengadukan dan waktu pengendapan (Asri *et al.*, 2010).



Gambar 8 Pengaruh Variasi Kecepatan Pengadukan terhadap Efisiensi Presipitasi

Variasi kecepatan pengadukan ini dilakukan pada pH 10 dengan konsentrasi Na_2S 30%. Pengaruh variasi kecepatan pengadukan terhadap efisiensi presipitasi dapat dilihat pada Gambar 8. Variasi kecepatan pengadukan dilakukan mulai dari kecepatan pengadukan lambat, sedang, hingga cepat. Pengadukan pada proses presipitasi sulfida ini berfungsi untuk menghomogenkan larutan Na_2S yang ditambahkan ke dalam limbah laboratorium agar dapat bereaksi sempurna dan membentuk endapan (Barbooti *et al.*, 2011). Namun pada saat percobaan tidak terlihat perbedaan yang signifikan terhadap efisiensi presipitasi. Kecepatan pengadukan yang digunakan baik lambat, sedang dan cepat tidak berpengaruh terhadap peningkatan efisiensi presipitasi.

KESIMPULAN

Belerang alam dapat mengendapkan logam berat Hg, Pb, Zn, dan Cr dengan dilarutkan terlebih dahulu menggunakan NaOH menjadi larutan Na_2S . pH optimum yang dapat mengendapkan logam Hg, Pb, Zn dan Cr dengan efisiensi paling tinggi adalah pH 10. Konsentrasi NaOH yang paling optimal untuk membuat larutan Na_2S adalah 30%. Logam Zn dan Cr dapat diturunkan kadarnya sampai memenuhi baku mutu dengan menggunakan larutan Na_2S dengan konsentrasi berturut-turut adalah 10

dan 20%. Efisiensi presipitasi yang dihasilkan berturut-turut adalah 97,93 dan 99,24%.

DAFTAR PUSTAKA

- Adli, H. (2012). Pengolahan Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.
- Amer, S.I. (1998). Treating Metal Finishing Wastewater. Aquachem. Canton.
- Andaka, G. (2008). Penurunan Kadar Tembaga pada Limbah Cair Industri Kerajinan Perak dengan Presipitasi Menggunakan Natrium Hidroksida. *Jurnal Teknologi 1* (2),109-224
- Asmadi, S. Endro, W. Oktiawan. (2009). Pengurangan Chrom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Kulit pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH dan NaHCO_3 . *Jurnal Air Indonesia 5* (1), 41-54
- Asri, N. P., Abadi, R., Hasmawati, A., & Mubarok, S. A. (2010). Penurunan Kadar Logam Berat Limbah Cair Industri Emas (PT. X) di Surabaya. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia 9*(2), 55-61
- Barbooti M.M, Abid, B.A., & Al-Shuwaiki, N.M. (2011). Removal of heavy metals using chemicals precipitation. *Eng. & Tech. Journal 29* (3), 595 – 612
- Cucikodana, Y., Supriadi, A., & Purwanto, B. (2012). Pengaruh Perbedaan Suhu Perebusan dan Konsentrasi NaOH terhadap Kualitas Bubuk Tulang Ikan Gabus (*Channa striata*). *Jurnal Fishtech 1* (1),91-101

- Day, R.A & Underwood, A.L. (2002). Analisis Kimia Kuantitatif. Edisi ke Enam. Erlangga. Jakarta.
- Fadlilah, I., Prasetya, A., & Mulyono, P. (2018). Recovery Ion Hg^{2+} dari Limbah Cair Industri Penambangan Emas Rakyat dengan Metode Presipitasi Sulfida dan Hidroksida. *Jurnal Rekayasa Proses* 12 (1), 23-31
- Hagemann, S., Oppermann, U., & Brasser, T. (2014). *Behaviour of Mercury and Mercury Compounds at The Underground Disposal In Salt Formations and Their Potential Mobilisation By Saline Solutions*. Federal Environment Agency Germany. Umweltbundesamt
- Handoko, C.T., Yanti, T.B., Syadiyah, H., & Marwati, S. (2013). Penggunaan Metode Presipitasi untuk Menurunkan Kadar Cu dalam Limbah Cair Industri Perak di Kota Gede. *Jurnal Penelitian Saintek*. 18 (2), 51-58
- Ismayana, A. (1997). Proses Presipitasi Kimia sebagai Pengolahan Air Buangan Lanjut Senyawa Ortofosfat. (Tesis). Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Khopkar, S.M. (2007). *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Diterjemahkan oleh A. Saptorahardjo. UI Press. Jakarta
- La Grega. (2001). *Hazardous Waste Management*. Mc Graw Hill Inc. New York.
- Lewis, A. & Hille, R.V. (2006). An Exploration Into The Sulphide Precipitation Method and Its Effect on Metal Sulphide Removal. *Hydrometallurgy Journal* 81(3), 197-204.
- Lusiani, T. (2011). Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Logam Merkuri dengan reaksi Fenton dan Presipitasi Sulfida. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Munfarida, A, Haji, A.T.S, Susanawati, L.D., & Cahyono, H.B. (2016). Reduksi Logam Merkuri (Hg) dengan Penambahan Na_2S atau NaOH pada Limbah Cair Pengujian COD Refluk Terbuka. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 1(1), 71-77.
- Naim, R., Kisay, L., Park, J., Qaisar, M., Zulfiqar, A.B., Noshin, M., & Jamil, K. (2010). Precipitation chelation of cyanide complexes in electroplating industry wastewater. *International Journal of Environment Research*. 4(4), 735-740
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Sidik, A. A. & Damanhuri, E. (2012). Studi Pengelolaan Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) Laboratorium-Laboratorium di ITB. *Jurnal Teknik Lingkungan* 18 (1), 12-20
- Skants, C. & Jamali, A. (2012). Evaluation of Treatment Techniques for Mercury Contaminated Leachates. (Thesis. Master of Science). Chalmers University of Technology
- Widowati, W., Sastiono, A., & Jusuf, R. (2008). *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Penerbit Andi. Yogyakarta

KARAKTERISASI DAN PROPORSI ABU TERBANG (*FLY ASH*) DALAM PEMBUATAN PCC (*PORTLAND COMPOSITE CEMENT*)

Finda Pratiwi Istomo, Nurlela Nurlela*

Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Nusa Bangsa,
Jl. KH. Sholeh Iskandar Km. 4, Tanah Sereal, Bogor 16166, Indonesia
*e-mail: nurlela.kimia@gmail.com

ABSTRACT

Characterization and Proportion of Fly Ash in The Making of PCC (Portland Composite Cement)

Coal is used as fuel to form clinker, which is the base material for cement. The resulting residue is fly ash that can pollute the air. Fly ash is pozzolanic that reacts with lime and is binding, it can be used as an additional material in cement making as a substitute for trass. Therefore, it is interesting to conduct study on the proportion of fly ash in order to obtain cement quality that meets the requirements of SNI 0302-2014. The research method used was characterization of oxides in fly ash using XRF, optimization of fly ash grinding, mixing cement blanks with fly ash samples, and chemical and physical testing. The composition of fly ash that was added to the cement blank is 0%, 10%, 20%, 30%, and 40%. The results of chemical and physical testing showed that the more fly ash added, it would affect the quality of the cement produced. The free lime test showed that the more fly ash added, the free lime content decrease, while for the insoluble part and the flare loss parameters were increased. Physical testing includes fineness, air content, expansion, and setting time, were increased while the residual test was decreased. Based on the results, to conclude that the addition of 10%-30% fly ash fulfilled the requirements of SNI 0302-2014.

Keywords: Portland Composite Cement, Fly Ash, Composition, Chemical and Physical Testing

ABSTRAK

Batubara digunakan sebagai bahan bakar untuk membentuk klinker yang merupakan bahan dasar semen. Residu yang dihasilkan yaitu abu terbang/*fly ash* yang dapat mencemari udara. *Fly ash* bersifat pozzolan dapat bereaksi dengan kapur dan bersifat mengikat, sehingga dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan semen yaitu pengganti material trass. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terhadap proporsi *fly ash* agar mendapat kualitas semen yang memenuhi persyaratan SNI 0302-2014. Metode penelitian yang dilakukan adalah karakterisasi oksida dalam *fly ash* menggunakan XRF, optimasi penggilingan sampel *fly ash*, pencampuran blanko semen dengan sampel *fly ash*, dan pengujian kimia dan fisika. Pengujian kimia meliputi uji kapur bebas, uji bagian tak larut, uji hilang pijar dan uji XRF. Sedangkan untuk pengujian fisika meliputi uji kehalusan, uji residu dengan ayakan 45 µm, uji kandungan air, uji pemuai, uji nilai konsistensi, uji *setting time*, dan uji kuat tekan. Komposisi *fly ash* yang ditambahkan pada blanko semen adalah 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%. Hasil uji kimia dan fisika didapatkan semakin banyak penambahan *fly ash* maka akan mempengaruhi kualitas dari semen yang dihasilkan. Hasil uji kimia kapur bebas mengalami penurunan, sedangkan untuk uji bagian tak larut dan uji hilang pijar mengalami kenaikan. Pengujian fisika meliputi uji kehalusan, uji kandungan udara, uji pemuai, uji *setting time*, mengalami kenaikan sedangkan uji residu mengalami penurunan. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan *fly ash* 10%-30% memenuhi persyaratan SNI 0302-2014.

Kata kunci: *Portland Composite Cement, Fly ash, Karakterisasi, Komposisi, Uji Kimia dan Fisika*

PENDAHULUAN

Infrastruktur dan properti di Indonesia berkembang pesat. Oleh karena itu, kebutuhan akan material penunjang juga semakin meningkat. Salah satu bahan komponen dalam pembangunan infrastruktur dan properti adalah semen. Seiring dengan kebutuhan semen yang semakin meningkat,

industri semen juga mengalami perkembangan yang sangat pesat. Hal ini mengakibatkan persaingan dalam pemasaran semen akan semakin ketat. Untuk itu diperlukan sistem pengendalian mutu yang optimal agar dihasilkan semen yang berkualitas baik dan memenuhi persyaratan yang telah diinginkan.

Dalam industri pembuatan semen, batubara digunakan sebagai bahan bakar dalam kiln untuk membentuk klinker yang merupakan bahan dasar semen. Batubara adalah salah satu sumber energi yang penting bagi dunia. Batubara banyak memainkan peran selama ribuan tahun, tidak hanya membangkitkan listrik namun juga merupakan bahan bakar utama bagi kegiatan-kegiatan industri seperti industri semen (Rendy *et al.*, 2014). Batubara yang digunakan sebagai bahan bakar diharapkan memiliki nilai kalor yang tinggi untuk mendapatkan efisiensi pembakaran (Lutfy *et al.*, 2013).

Pembakaran batubara ini menghasilkan residu yang dikenal dengan *fly ash* atau abu terbang serta *bottom ash* atau abu dasar. Abu terbang apabila dibuang pada udara terbuka akan mengakibatkan pencemaran karena mengandung beberapa elemen seperti arsen, vanadium, antimon, boron, kromium sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil dari penggunaan batubara akan menghasilkan limbah (Sumajouw *et al.*, 2013).

Bahan pozzolan di kelompokkan menjadi dua jenis, yaitu bahan pozzolanik alami dan bahan pozzolanik buatan. Bahan yang dikelompokkan menjadi pozzolanik alami adalah trass, sedangkan bahan yang dikelompokkan menjadi pozzolanik buatan adalah *Blast Furnace Slag*, *Fly ash* (ASTM 593-82). *Fly ash* bersifat pozzolan yang berarti abu tersebut dapat bereaksi dengan kapur dan bersifat mengikat (Maryoto, 2008) sehingga dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan semen. Untuk mengurangi limbah/residu dari industri pembuatan semen, maka bisa memanfaatkan sisa dari pembakaran batu bara yang berupa *fly ash* untuk dicampurkan pada klinker sebagai pengganti material yang selama ini digunakan yaitu trass. Untuk memperoleh semen dengan penambahan *fly ash* yang memiliki kualitas baik tetapi dengan harga yang lebih ekonomis, perlu dilakukan penelitian optimasi dan karakterisasi *fly ash* yang akan ditambahkan pada proses pembuatan semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi komposisi oksida dalam *fly ash* menggunakan *X-ray Fluorescence* (XRF),

mendapatkan kondisi waktu terbaik dalam proses preparasi penggilingan *fly ash*, menentukan proporsi *fly ash* dan klinker dalam pembuatan semen, dengan melakukan uji kimia dan fisika untuk menghasilkan produk *Portland Composite Cement* dengan kualitas yang memenuhi persyaratan SNI 0302-2014.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah HCl pekat, HCl 1/14 N, indikator Fenolftalein (PP) 1%, etilen glikol (C₂H₆O₂), kertas saring Whatman No. 40 dan 41, larutan NH₄NO₃ 20 %, larutan natrium hidroksida 10 %, metil merah, pil CGA (*Cement Grinding Aid*), akuades, air kapur jernih, pasir silika standar (C-109 dan C-190), cairan manometer (dibutil ftalat), *fly ash*, klinker. Alat-alat yang digunakan adalah *Furnace* Thermolyne 48000, desikator, cawan krusibel, neraca analitik, gelas ukur 50 mL, pengaduk magnetik, *hot plate*, piala gelas 250 mL, *vessel disk*, *grinding machine* Herzog tipe HSM 100 H, *ring*, *press machine* Herzog tipe HTP 40, XRF ARL 8480S, *cassette*, cetakan kubus (*mold*), mesin pengaduk Hobart, pengaduk, mangkuk aduk, meja alir dan cetakan alir, penumbuk, pisau aduk, pisau segi tiga, mesin kuat tekan Toni Technik, sel permeabilitas, piringan, torak, kertas saring, manometer, alat pencatat waktu, corong kecil, kuas kecil berbulu halus, *sieve frame* No. 325, *spray nozzle*, pengukur tekanan, peralatan vicat, pisau tumpul, ring ebonit, oven Memmert UNE 700.

Metode

Pembuatan Semen

Penelitian ini menggunakan blanko semen dengan abu terbang. Sampel abu terbang sebelumnya di keringkan dalam oven (105±5) °C selama 24 jam. Sebelum dilakukan pencampuran, abu terbang di analisis komposisi kimianya dengan XRF.

Tabel 1. Perbandingan komposisi semen dan abu terbang

No	Kode	Persentase Fly Ash (%)	Blanko (gram)	Abu Terbang (gram)	Pasir (gram)
1	PCC-1	0	740	0	2035
2	PCC-2	10	666	74	2035
3	PCC-3	20	592	148	2035
4	PCC-4	30	518	222	2035
5	PCC-5	40	444	296	2035

Tahap selanjutnya dilakukan pencampuran semen dengan melakukan penimbangan contoh berdasarkan komposisi yang telah ditetapkan (Tabel 1). Semua contoh dihaluskan dengan menggilingnya sampai mencapai kehalusan 3800-4000 cm²/gram dengan alat penggiling (*grinding mill*), setelah itu dihomogenisasi.

Uji Hilang Pijar (ASTM C-114)

Semen ditimbang dengan teliti sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke dalam cawan porselen yang telah diketahui bobot tetapnya. Kemudian dimasukkan cawan porselen tersebut ke dalam tanur yang suhunya 400 °C selama 30 menit. Lalu, suhu *furnace* diubah menjadi (1000 ± 20) °C dan dipijarkan lagi selama 1 jam pada suhu tersebut. Cawan porselen dan sampel yang telah dipijarkan didinginkan dalam desikator selam 30 menit, bobot setelah pemijaran ditimbang.

Rumus kadar Hilang Pijar:

$$\text{Hilang Pijar (\%)} = \frac{(A - B)}{C} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

A = bobot krusibel + sampel(gram)

B = bobot krusibel setelah pemijaran(gram)

C = bobot sampel(gram)

Uji Kapur Bebas (ASTM STP-985)

Semen ditimbang teliti 1 gram, dimasukkan ke dalam piala gelas 250 mL. Kemudian ditambahkan 25 mL etilen glikol dengan suhu 85°C, lalu dipanaskan dan diaduk dengan bantuan pengaduk magnetik. Setelah itu larutan disaring dengan bantuan vakum, lalu ditambahkan ± 3 tetes indikator PP 1% hingga warna larutan berwarna merah muda. Larutan ditirasi dengan HCl 1/14 mg/L sampai warna larutan berubah dari warna merah muda menjadi tak berwarna.

Rumus kadar Kapur Bebas:

$$\text{Kapur bebas(\%)} = \frac{V_p \times N_{HCl} \times Bst \text{ CaO} \times 100\%}{w \times 1000} \quad (2)$$

Keterangan :

$V_{penitar}$ = Volume HCl yang dibutuhkan pada titrasi (ml)

$Bst \text{ CaO}$ = Bobot ekivalen CaO (28)

1000 = Nilai konversi satuan

N_{HCl} = Normalitas HCl (mol/L)

w = Berat sampel (gram)

Uji bagian tak larut (ASTM C114-15)

Semen ditimbang dengan teliti sebanyak 1 gram contoh, masukkan ke dalam piala gelas 250 mL, tambahkan 25 mL akuades dan 5 mL HCl pekat. Bila perlu, panaskan larutan dan tekan-tekan contoh dengan ujung batang pengaduk kaca sampai terurai sempurna. Diencerkan larutan sampai dengan 50 mL dengan air panas dan dipanaskan di atas *hot plate* sampai mendekati titik didih. Disaring melalui kertas saring berpori medium ke dalam piala gelas 400 mL, cuci piala gelas, kertas saring dan endapan 10 kali dengan akuades panas dan filtrat digunakan untuk penetapan SO₃. Dipindahkan kertas saring dan endapan ke dalam piala gelas semula, ditambahkan 100 mL larutan NaOH 10 % panas dan di-*digest* selama 15 menit pada suhu hampir mendidih.

Selama di-*digest* sekali-sekali diaduk campuran dan dihancurkan kertas saring dengan batang pengaduk. Asamkan larutan dengan HCl dan gunakan metil merah sebagai indikator, ditambahkan HCl berlebih (4-5) tetes. Saring dengan kertas saring berpori medium dan dicuci endapan sekurang-kurangnya 14 kali dengan larutan NH₄NO₃ 20 % panas untuk meyakinkan bahwa kertas saring dan isinya tercuci sempurna. Kertas saring dan isinya dimasukkan ke dalam krusibel yang telah diketahui beratnya lalu abukan dan pijarkan

pada suhu (900-1000)°C sekurang-kurangnya 30 menit. Dinginkan dalam desikator kemudian timbang. Lakukan penetapan *blanko* dengan menggunakan pereaksi dan cara yang sama. Perhitungkan hasilnya sebagai koreksi dalam perhitungan. Rumus kadar Bagian Tak Larut :

$$\text{Bagian tak larut (\%)} = \frac{((B - A) - \text{blanko})}{C} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

A = bobot krusibel kosong (gram)

B = bobot krusibel + endapan (gram)

C = bobot sampel (gram)

Blanko = faktor koreksi (gram)

Uji Komposisi Kimia dengan X-RF (ASTM C114-10)

Semen ditimbang sebanyak 15 gram, dimasukkan ke dalam *vessel disk*. Lalu sebanyak 2 butir *cement grinding aid* (CGA) ditambahkan. *Vessel disk* disimpan pada *grinding machine*, dioperasikan ±2 menit. Contoh semen yang telah digiling dimasukkan ke dalam *ring* yang sudah siap untuk di *press* oleh *press machine* dengan kuat tekanan 10 sampai 12 ton selama 5 detik. Contoh semen yang telah di *press* selanjutnya siap untuk dianalisis dengan spektrometer pendarfluor sinar-X.

Contoh semen dimasukkan ke dalam *cassette* dan diletakkan pada tempat contoh spektrometer pendarfluor sinar-X. Alat dikondisikan (*drift correction*, kurva kalibrasi) untuk operasi sesuai tipe spektrometer pendarfluor sinar X dan jenis contoh yang akan dianalisis. Analisis dilakukan sesuai tipe spektrometer pendarfluor sinar-X secara otomatis akan menganalisis contoh dan data hasil analisis secara otomatis akan terlihat di layar monitor.

Penyiapan Benda Uji

Sisa-sisa mortar yang menempel pada cetakan dibersihkan. Kain yang sudah diolesi minyak/gemuk dibuat lapisan tipis pada cetakan di bagian dalam dan dasar plat. Cetakan dan pasangannya diklem hingga rapat, lalu ditempelkan pada dasar plat dan diklem sampai rapat, jangan sampai ada kebocoran di bagian sambungan.

Penyiapan Mortar

Mortar disiapkan dengan perbandingan bobot [semen (1): pasir silika standar (2,75) : air (0,485)] untuk membuat sembilan benda uji dalam satu kali pengerjaan memerlukan 740 g semen, 2035 g pasir silika standar (C-109), dan 359 g air. Semen dan air dimasukkan ke dalam mesin pengaduk dengan kecepatan rendah yaitu 140 ± 5 rpm selama 30 detik. Pasir perlahan ditambahkan. Kecepatan dinaikkan hingga 285 ± 10 rpm selama 30 detik, sisa-sisa mortar yang menempel dibersihkan, kemudian dilanjutkan pengadukan hingga 1 menit.

Pencetakan Benda Uji

Pencetakan dilakukan segera setelah pengadukan. Dituangkan mortar dengan ketinggian ± 25 mm pada cetakan kubus, ditumbuk mortar tersebut. Jika penumbukan lapisan pertama sudah selesai, sisa mortar dituangkan ke dalam cetakan dan ditumbuk kembali, setelah tiap kali penumbukan selesai. Ujung kubus harus sedikit lebih tinggi dari ujung cetakan, lalu mortar di atas cetakan diratakan.

Penyiapan Benda Uji

Setelah pencetakan benda uji selesai, dengan segera benda uji ditempatkan ke dalam wadah yang lembab selama 24 jam dengan permukaan atasnya kontak dengan udara lembab tetapi harus dihindarkan dari tetesan air. Benda uji dikeluarkan dari cetakan dan diberi identitas, kemudian direndam dalam wadah penyimpanan yang berisi air kapur jenuh. Benda uji dikeluarkan dari perendaman hanya benda uji yang akan dilakukan uji kuat tekan saja, sedangkan yang akan diuji kuat tekan pada umur lanjut tetap dibiarkan dalam bak perendaman.

Penentuan Kuat Tekan

Pengujian segera dilakukan setelah benda uji dikeluarkan dari wadah lembab dengan menggunakan alat kuat tekan, mortar diuji kuat tekannya hingga pecah dengan persyaratan seperti pada Tabel 2. Benda uji yang dikeluarkan dari wadah lembab harus dijaga dalam air pada suhu $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ hingga pengujian dilaksanakan.

Tabel 2. Toleransi Waktu Pengukuran Kuat Tekan

Umur (hari)	Toleransi yang diperbolehkan (jam)
3	± 1,0
7	± 3,0
28	± 12,0

(Sumber: Vera, *et al.*, 2000)

Setiap benda uji diseka sampai kondisi kering permukaan dan dihilangkan butiran-butiran pasir yang lepas. Beban diberikan pada permukaan benda uji yang pada pencetakannya kontak dengan permukaan yang rata dari cetakan, kemudian benda uji ditempatkan tepat di bawah titik pusat dari landasan blok atas. Laju penekanan sedemikian rupa sehingga beban maksimum akan tercapai, tidak kurang dari 20 detik dan tidak lebih dari 80 detik sejak penekanan dimulai, lalu catat tonase dari penekanan mortar. Rumus Penentuan Kuat Tekan yaitu:

$$\text{Kuat Tekan}(\text{kg/cm}^2) = X \times \text{Faktor} \times 38,75(4)$$

Keterangan:

X = Hasil pengukuran dengan alat kuat tekan (ton)

Faktor = Faktor kalibrasi dari alat kuat tekan

38,75 = Nilai konversi satuan ($\text{kg/cm}^2 \text{ ton}$)

Uji Kehalusan Semen Menggunakan Alat Blaine (ASTM C-204)

Semen yang akan diuji didiamkan hingga suhunya sama dengan suhu ruangan. Logam berbentuk piringan diletakan di dasar sel dan kertas saring disimpan di atas piringan logam tersebut. Ditekan menggunakan batang memiliki diameter lebih kecil daripada diameter sel.

Semen ditimbang 0,001 g, dengan menggunakan corong dan kuas, semen dimasukkan ke dalam sel, kemudian diketuk bagian luar sel agar lapisan contoh di dalamnya rata. Kertas saring diletakan di atas contoh dan ditekan dengan torak sampai leher torak kontak dengan permukaan sel, ditarik torak sedikit ke atas, diputar 90° dan tekan kembali, perlahan torak ditarik keluar sel.

Sel permeabilititas disambungkan pada tabung manometer dengan sambungan yang

kedap udara, dikeluarkan udara yang ada dalam salah satu tabung manometer dengan menggunakan pompa karet hingga cairan manometer mencapai tanda garis ketiga. Suhu pengujian dan waktu (detik) dicatat.

Uji Kehalusan Semen dengan Ayakan 45 µm (ASTM C-430)

Sebanyak ± 10 g contoh semen ditimbang, lalu dimasukkan ke dalam *sieve frame* nomor 325 yang bersih dan kering, kemudian dibasahi contoh dengan aliran air yang kecil, setelah itu dipindahkan *sieve frame* dari bawah pipa semprot (*nozzle*) dan diatur tekanan air pada pipa semprot sampai ($10 \pm 0,5$ psi). Dikembalikan *sieve frame* dengan gerakan melingkar pada permukaan horizontal dengan kecepatan satu gerakan per detik pada semprotan air. Bagian bawah *spray nozzle* berjarak sekitar 12 mm (0,5 inci) dari bagian atas kerangka ayakan.

Sieve frame segera dipindahkan dari pipa semprot, lalu dicuci dengan air suling kira-kira 50 mL jangan sampai ada residu yang hilang, dikeringkan *sieve frame* dan residu dalam oven dengan temperatur 105°C selama 1 jam, setelah itu didinginkan *sieve frame* dan sikat residu dari *sieve frame* dengan menggunakan kuas kecil serta timbang dengan neraca. Kemudian berat residu dicatat. Rumus kadar Kehalusan Semen dengan Ayakan 45 µm :

$$\text{Kehalusan} (\%) = \frac{(B - A) \times \text{faktor}}{C} \times 100\% (5)$$

Keterangan:

A = bobot ayakan kosong (gram)

B = bobot ayakan + residu (gram)

C = bobot sampel (gram)

faktor = faktor koreksi ayakan (gram)

Uji Normal Consistency (ASTM C-187) Persiapan Pasta Semen

Semen ditimbang tepat 650 gram, lalu dicampurkan sejumlah air mengikuti prosedur seperti yang dijelaskan dalam prosedur untuk mencampur pasta.

Contoh Uji Cetak

Pasta semen dibentuk dengan cepat hingga menjadi bentuk seperti bola dengan mengepalkannya menggunakan tangan.

Kemudian dilemparkan sebanyak enam kali dari satu tangan ke tangan lain yang berjarak 150 mm hingga membentuk massa bulat yang dapat dengan mudah disisipkan ke dalam *ring* vikat dengan manipulasi tambahan minimum. Bola ditekan, menggunakan satu telapak tangan, ke ujung *ring* G yang lebih lebar, dipegang dengan tangan lainnya, dimasukkan pasta ke dalam *ring* hingga selesai. Buang sisa pada ujung lebar dengan sekali gerakan telapak tangan. Ditempatkan *ring* pada bagian ujung lebarnya pada plat dasar H. Kelebihan pasta di bagian ujung *ring* dipotong dengan sesekali gerakan sekop berujung tajam yang dipegang dengan sudut ringan terhadap bagian atas *ring*, dan dihaluskan, jika perlu dengan beberapa sentuhan ringan dari ujung sekop. Selama pelaksanaan pemotongan dan penghalusan, hati-hati jangan sampai menekan pasta.

Penentuan Konsistensi

Pasta terbatas ditempatkan di dalam *ring*, diletakkan pada plat, di bawah batang B, ujung plunger C yang akan bersentuhan dengan permukaan pasta, dan dieratkan/dikuatkan set sekrup E. lalu diatur indikator F kepada tanda nol pada skala atau dilakukan pembacaan awal, dan dilepaskan batang dengan segera. Hal ini tidak boleh lebih dari 30 detik setelah pencampuran selesai. Peralatan harus bebas dari semua getaran selama uji. Pasta akan ada pada konsistensi normal ketika batang berada pada titik 10 ± 1 mm di bawah permukaan asli dalam 30 detik setelah dilepaskan. Dibuat pasta dengan persentase air yang berbeda-beda hingga konsistensi yang diperoleh normal. Setiap pasta percobaan dibuat dengan semen baru/segar.

Uji *Setting Time* (ASTM C-430)

Persiapan Pasta Semen

Benda uji yang digunakan merupakan kelanjutan dari benda uji yang digunakan untuk penetapan *Normal Consistency* dan telah memenuhi spesifikasi uji tersebut. Segera dibentuk pasta semen menjadi bola-bola dengan tangan. Tekan bola yang terletak disalah satu telapak tangan, dimasukkan ke ujung yang lebih besar dari *ring* ebonit, yang dipegang dengan tangan

yang lain, dilanjutkan pengisian pasta ke dalam *ring*. Kelebihan pasta dibuang pada ujung yang lebih besar dari *ring* dengan sekali gerakan telapak tangan. Jika perlu, dihaluskan benda uji pada bagian atas dengan ujung pisau pengaduk. Pasta jangan sampai ditekan.

Pengujian *Setting time*

Benda uji didiamkan dalam wadah lembab selama 30 menit, penetrasi dilakukan menggunakan jarum diameter 1 mm dengan durasi setiap 15 menit. Jarum D diturunkan hingga menempel di permukaan pasta. Sekrup E dikencangkan dan indikator F diatur skalanya di skala nol. Sekrup E dilonggarkan hingga jarum turun selama 30 detik, skala dicatat. Dengan melakukan interpolasi, ditentukan waktu pengikatan awal yaitu yang menunjukkan penetrasi 25 mm. Saat jarum tidak nampak terbenam pada pasta, maka itulah waktu pengikatan akhir. Dilakukan verifikasi pengikatan akhir dengan mengulang penetrasi dalam selang waktu 90 detik. Peralatan tidak boleh ada getaran selama penetrasi. Jarum dijaga agar tetap lurus dan bersih.

Pemuaian Autoclaf

Pasta segera diletakkan pada cetakan, lalu simpan di wadah lembab minimal 20 jam. Benda uji dikeluarkan saat 24 jam \pm 30 menit setelah pencetakan, segera diukur panjangnya dan dimasukkan ke dalam autoclaf pada suhu 20–28 °C. Katup pelepasan dibuka sampai mulai tampak uap air. Lalu katup ditutup dan suhu autoclave dinaikkan secara bertahap hingga tekanan uap 2 MPa selama \pm 75 menit dari mulai pemanasan. Diusahakan tekanan konstan.

Setelah 3 jam, autoclave didinginkan perlahan. Setelah 1,5 jam, sisa tekanan dilepaskan pelan-pelan. Hitung perubahan panjang benda uji (dalam satuan persen dengan ketelitian 0,01) sebelum dan sesudah pemuaian autoclave.

Air Content (Kandungan Udara) ASTM C 185-02

Ditimbang tepat komposisi Semen PCC sebanyak 350 gram dengan pasir standar gradasi 20-30% sebanyak 1400 gram. Ditambah air hingga menjadi mortar.

Diletakkan adonan mortar pada meja alir di posisi tengah. Diisi cetakan hingga mencapai tinggi 25 mm. Adukan dipadatkan dengan menumbuknya menggunakan alat penumbuk hingga cetakan dipastikan rata. Diisi kembali cetakan hingga penuh dan dipadatkan. Bagian atas diratakan dengan pisau perata. Dibersihkan dan dikeringkan permukaan meja alir di bagian luar cetakan. Cetakan diangkat dari adukan, 1 menit setelah pengerjaan selesai, meja alir diketuk 10 kali dari ketinggian 12,7 mm. Rata-rata penyebaran (dalam satuan persen) diukur menggunakan jangka sorong sebanyak 4 kali dengan sudut yang berbeda.

Jika telah didapat penyebaran yang dimaksud, ditimbang sisa adukan 400 mL. Dimasukkan adukan dengan sendok ke dalam alat ukur dalam 3 lapisan. Masing-masing lapisan dipadatkan dengan cara ditusuk-tusuk menggunakan pisau perata sebanyak 20 kali sepanjang sisi dalam cetakan. Pada penusukan lapisan pertama, tusukan jangan mengenai dasar cetakan. Pada penusukan kedua dan terakhir cukup menembus lapisan masing-masing adukan. Untuk menghilangkan udara yang tertahan dalam adukan, diketuk bagian samping alat ukur perlahan-lahan dengan tongkat penumbuk pada 5 titik yang berbeda sekeliling alat ukur, masing-masing adukan. Untuk menghilangkan udara yang tertahan dalam adukan, diketuk bagian samping alat ukur perlahan-lahan dengan tongkat penumbuk pada 5 titik yang berbeda sekeliling alat ukur, masing-masing 1 kali ketukan. Diratakan permukaan adukan dalam alat ukur dengan pisau perata pada 2 arah yang tegak lurus. Jika pada waktu perataan ada butiran pasir yang keluar dari adukan dan menyebabkan goresan, maka peralatan harus diulangi kembali. Seluruh pekerjaan ini harus diselesaikan dalam waktu 1,5 menit. Dibersihkan adukan dan air yang keluar dari alat ukur. Ditimbang alat ukur dan isinya kemudian dihitung berat

adukan dalam gram. Perhitungan kandungan udara dalam mortar:

$$\text{Kandungan udara} = 100 - W [(182,7 + P)/(2000 + 4 P)] \quad (6)$$

Keterangan :

W = Bobot adukan sebanyak 400 mL (gram)

P = Persentase air dalam adukan terhadap bobot semen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kimia dan fisika terhadap beberapa sampel uji dengan komposisi yang telah ditetapkan sesuai dengan standar SNI 0302-2014 tentang Semen Portland Pozolan. Sebelum dilakukan pencampuran komposisi, sampel *fly ash* di uji dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui kandungan oksida dalam masing-masing sampel *fly ash*. Hasil uji XRF bahan baku material *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk pengujian selanjutnya *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* Cikarang, karena secara fisik, *fly ash* cikarang paling mirip dengan semen komersil.

Pada awal penelitian dilakukan optimasi waktu penghalusan limbah *fly ash* terlebih dahulu dengan tujuan menyeragamkan karakteristik *fly ash* agar serupa dengan material blanko semen. Dilakukan variasi terhadap waktu penghalusan *fly ash*. Dari data pada Tabel 4 digunakan waktu penghalusan selama 15 detik dengan dihasilkan parameter uji blaine sebesar 878 cm²/g yang berarti dalam 1 gram sampel *fly ash* mempunyai luas permukaan sebesar 878 cm²/g sehingga semakin luas permukaan *fly ash* maka semakin halus. Residu *fly ash* yang diperoleh sebesar 26,2 %. *Fly ash* yang dihaluskan dalam waktu yang lama, maka akan semakin banyak yang lolos ayakan 45 mikron sehingga semakin sedikit residu yang tertahan.

Tabel 3. Hasil Uji XRF Bahan Baku Material *Fly Ash*

Material	LOI (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
<i>Fly ash</i> fajar	8,71	44,85	20,70	21,26	15,13	12,42	2,14
<i>Fly ash</i> cikarang	3,75	38,70	3,40	23,04	19,62	7,45	0,01
<i>Fly ash</i> indoray	1,67	41,54	3,54	16,44	12,00	17,66	0,01

Tabel 4. Optimasi Waktu Penghalusan/*Grinding Fly Ash*

No Sampel	Waktu <i>Grinding</i> (s)	Standar		Parameter Uji		Keterangan
		Blaine (cm ² /g)	Residu (%)	Blaine (cm ² /g)	Residu (%)	
1	0	Min 300	Maks 34 %	497	28,6	Sedikit Kasar
2	15			878	26,2	Halus
3	60			1014	23,4	Halus
4	120			1065	21,9	Halus

Dilihat dari hasil penelitian bahwa nilai blaine berbanding terbalik dengan nilai residu. Dalam penelitian ini digunakan penghalusan dengan lama waktu *grinding* pada 15 detik, diambil yang paling optimum dan efisien karena sebenarnya tanpa di haluskan saja karakteristik *fly ash* telah masuk persyaratan. Namun, untuk menyeragamkan ukuran di haluskan selama 15 detik agar terhomogenisasi dengan baik dan cepat.

Hasil Uji Kimia

Setelah sampel *fly ash* di haluskan kemudian dilakukan pencampuran komposisi sampel untuk di analisis pengujian kimia. Pengujian kimia terdiri dari uji kimia kapur bebas (*free lime*), uji bagian tak larut (*insoluble residu*), uji hilang pijar (LOI), dan uji dengan XRF (X-Ray *Fluorescence*). Hasil pengujian kimia dapat dilihat pada Tabel 5.

1. Pengaruh Komposisi PCC Terhadap Uji Kimia Kapur Bebas (*Free Lime*)

Kapur bebas yang terdapat dalam terak atau semen adalah CaO yang tidak berikatan dengan oksida-oksida seperti SiO₂,

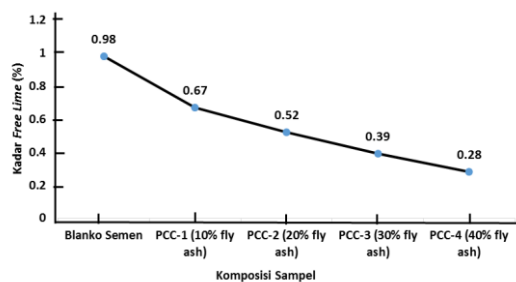
Al₂O₃ dan Fe₂O₃. Adanya kapur bebas disebabkan oleh 2 hal yaitu:

- Jumlah kapur yang digunakan berlebihan dengan kebutuhan untuk bereaksi dengan SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃.
- Reaksi yang berlangsung dalam tanur putar kurang sempurna. (Vera, *et al.*, 2000)

Gambar 1 menunjukkan bahwa kadar kapur bebas terendah terdapat pada PCC-4 (40% *fly ash*) sebesar 0,28% dan kadar kapur bebas tertinggi terdapat pada PCC-1 (10% *fly ash*) sebesar 0,67 %. Semakin banyak penggunaan *fly ash* menandakan semakin sedikit penggunaan klinker yang artinya jumlah CaO bebas yang terbentuk saat pembakaran di reaktor semakin sedikit. Gambar 4 menunjukkan bahwa semua kode semen memasuki persyaratan SNI 0302-2014 yaitu 0,20-0,80 %. Kadar kapur bebas dalam semen harus dibatasi karena dapat menimbulkan keretakan semen (ekspansi) dan dapat menyebabkan kualitas semen menurun. Kadar kapur bebas ini berbanding terbalik dengan kadar hilang pijar. Semakin tinggi kadar kapur bebas maka kadar hilang pijarnya semakin kecil, begitupun sebaliknya.

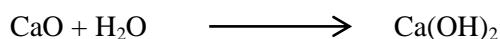
Tabel 5. Hasil Pengujian Kimia

Kode	Pengujian Kimia		
	<i>Free Lime</i> (%)	<i>Insoluble Residu</i> (%)	LOI (%)
STD			Maks. 5
Blanko Semen	0,98	3,26	2,89
PCC-1 (10% <i>fly Ash</i>)	0,67	5,80	3,18
PCC-2 (20% <i>fly ash</i>)	0,52	9,43	3,84
PCC-3 (30% <i>fly ash</i>)	0,39	13,15	4,22
PCC-4 (40% <i>fly ash</i>)	0,28	18,58	4,88



Gambar 1. Pengaruh Komposisi Penambahan Fly Ash Pada Semen terhadap Kadar Free Lime

Pada waktu semen digunakan, selain reaksi hidrasi senyawa-senyawa mineral potensial juga terjadi hidrasi CaO bebas. Kapur bebas sangat reaktif dengan air, sehingga selama proses penggilingan ataupun penyimpanan, kapur bebas akan mengikat air dari udara. Meskipun demikian, kapur bebas akan bereaksi dengan cepat pada saat air ditambahkan ke dalam dan volume akhir reaksi lebih besar bila dibandingkan sebelum reaksi.



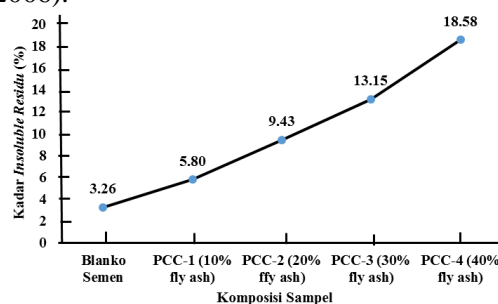
Reaksi hidrasi berlangsung lambat, baru selesai pada waktu pengikatan akhir semen sudah terlampaui, padahal Ca(OH)₂ yang terbentuk mempunyai volume lebih besar dari CaO. Pertambahan volume ini (ekspansi) terjadi pada saat semen sudah tidak plastis lagi. Akibatnya timbul keretakan yang dapat menurunkan kualitas semen dikarenakan adanya kapur bebas yang banyak sehingga mengakibatkan pengembangan atau pemuaihan semen (Lea & Desch, 1976).

2. Pengaruh Komposisi PCC Terhadap Uji Bagian Tak Larut (Insoluble Residue)

Besarnya kadar bagian tak larut atau IR (*Insoluble Residue*) ini bergantung banyaknya penambahan fly ash di dalam material penyusun semen. Residu dari fly ash yang tidak larut oleh asam mendominasi dalam komposisi penyusunan semen sehingga semakin banyak penggunaan fly ash maka semakin tinggi nilai *Insoluble Residue* (IR).

Gambar 2 menunjukkan bahwa kadar IR terendah terdapat pada PCC-1 (10 % fly

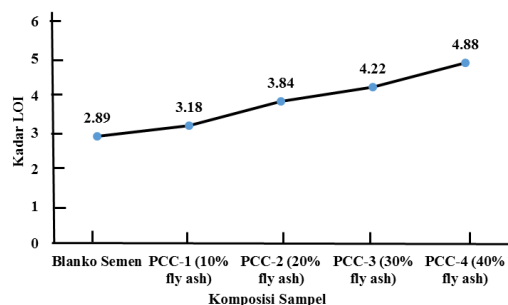
ash) sebesar 3,26 % dan kadar IR tertinggi terdapat pada PCC-4 (40 % fly ash) sebesar 18,58 %. Untuk semen PCC tidak terdapat batasan karena dalam penggunaan bahan pengisi masih banyak digunakan dengan komposisi yang di sesuaikan. Batas kadar IR tidak ditentukan oleh SNI 0302-2014 tetapi kadar IR ini harus dibatasi karena bertujuan untuk mencegah tercampurnya bahan semen dengan bahan pengotor yang tidak dapat dibatasi oleh persyaratan fisika. Kenaikan kadar bagian yang tak larut sebanding dengan kenaikan komposisi penambahan fly ash di dalam material penyusun semen. Hal ini dikarenakan jumlah SiO₂ adalah komponen terbesar sebagai penyusun fly ash. Semakin banyak penambahan fly ash maka semakin besar pula kadar IR, begitupun sebaliknya (Lamond & Pielert, 2006).



Gambar 2. Pengaruh Komposisi Penambahan Fly Ash Pada Semen terhadap Bagian Tak Larut

3. Pengaruh Komposisi PCC Terhadap Uji Kimia Hilang Pijar (LOI)

Hasil penetapan kadar hilang pijar semen menunjukkan kadar hilang pijar terendah terdapat pada PCC-1 (10% fly ash) sebesar 2,89% dan kadar hilang pijar tertinggi terdapat pada PCC-4 (40% fly ash) sebesar 4,88% dapat dilihat pada Gambar 3. Semakin banyak penggunaan fly ash dalam pembuatan semen maka nilai hilang pijar semakin tinggi. Batas maksimum kadar hilang pijar yang ditentukan oleh SNI 0302-2014 adalah maksimum 5,00%, semua kode semen tersebut memenuhi syarat spesifikasi. Hilang pijar harus dibatasi karena dapat menimbulkan kerusakan dengan tingginya kadar hilang pijar dan dapat menyebabkan kualitas semen menurun karena tingginya CO₂ dari batu kapur dan fly ash.



Gambar 3. Pengaruh Komposisi Penambahan Fly Ash Pada Semen terhadap Hilang Pijar

Hilang pijar pada semen disebabkan oleh penguapan air kristal yang berasal dari gipsium dan terjadi pelepasan CO_2 yang berasal dari batu kapur dan SO_2 yang berasal dari fly ash. Kristal mineral-mineral tersebut pada umumnya dapat mengalami perubahan dalam waktu beberapa tahun, dimana perubahan tersebut dapat menimbulkan kerusakan pada semen. Besarnya hilang pijar tergantung pada banyaknya air kristal gipsium dan pelepasan CO_2 yang berasal dari batu kapur dan SO_2 yang berasal fly ash.

Penambahan fly ash di dalam semen memberikan kontribusi terhadap kenaikan kadar hilang pijar pada semen karena akan melepaskan CO_2 dan SO_2 , oleh karena itu kadar hilang pijar yang semakin tinggi menunjukkan adanya komponen lain yang terurai menjadi CO_2 atau H_2O pada saat dilakukannya pemijaran. (Vera, *et al.*, 2000).

4. Pengaruh Komposisi PCC Terhadap Komposisi Oksida

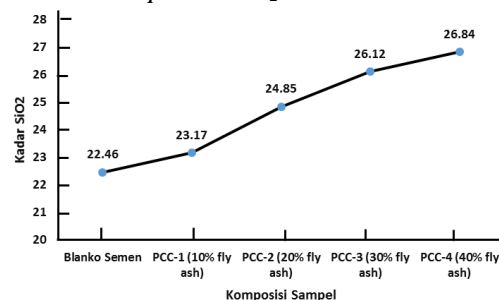
Komposisi oksida di dalam semen dianalisis menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). Penambahan fly ash pada PCC memberi pengaruh perubahan komposisi oksida PCC seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, MgO dan SO_3 . Tabel 6 menunjukkan

Tabel 6. Hasil Analisis Komposisi Kimia dengan XRF

Kode Semen	Data X-RAY					
	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO_3 (%)
STD PCC					Maks 6	Maks 4
BLANKO	22,46	6,39	3,79	66,23	3,06	1,93
PCC-1 (10% fly ash)	23,17	7,17	5,61	59,52	2,39	2,22
PCC-2 (20% fly ash)	24,85	7,74	7,88	54,67	2,71	2,57
PCC-3 (30% fly ash)	26,12	8,36	9,75	48,51	3,14	2,68
PCC-4 (40% fly ash)	26,84	9,05	11,89	44,90	3,45	2,94

pengaruh komposisi PCC terhadap uji komposisi kimia dengan XRF.

a. Hasil komposisi SiO_2 dalam Semen PCC

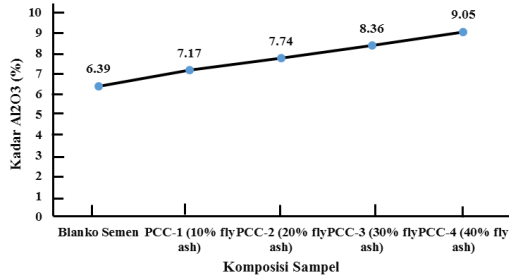


Gambar 4. Hasil komposisi SiO_2 dalam Semen PCC

Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar SiO_2 terendah terdapat pada PCC-1 (10% fly ash) sebesar 23,17% dan kadar SiO_2 tertinggi terdapat pada PCC-4 (10% fly ash) sebesar 26,84 %. SNI 0302-2014 tidak mencantumkan batas maksimum kadar SiO_2 dalam semen. Semakin banyak penambahan fly ash di dalam semen maka semakin tinggi kadar SiO_2 . Hal ini dikarenakan SiO_2 adalah senyawa kedua terbesar setelah CaO yang terkandung dalam semen. Didalam semen SiO_2 selalu berikatan dengan oksida kalsium, sebagai C_3S dan sebagai C_2S .

b. Hasil komposisi Al_2O_3 dalam Semen PCC

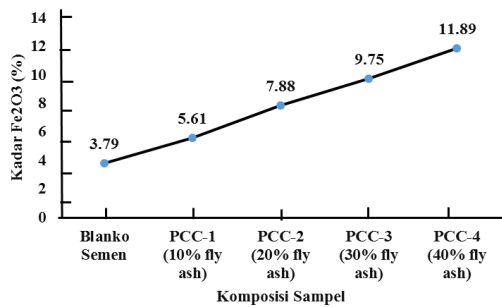
Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar Al_2O_3 terendah terdapat pada PCC-1 (10% fly ash) sebesar 7,17 % dan kadar Al_2O_3 tertinggi terdapat pada PCC-4 (40% fly ash) sebesar 9,05 %. SNI 0302-2014 tidak mencantumkan batas maksimum kadar Al_2O_3 dalam semen. Semakin banyak penambahan fly ash di dalam semen maka semakin tinggi kadar Al_2O_3 .



Gambar 5. Komposisi Al₂O₃ dalam Semen PCC

c. Hasil komposisi Fe₂O₃ dalam Semen PCC

Gambar 6 menunjukkan bahwa kadar Fe₂O₃ terendah terdapat pada PCC-1 (10% fly ash) sebesar 5,61 % dan kadar Fe₂O₃ tertinggi terdapat pada PCC-4 (40% fly ash) sebesar 11,89 %. SNI 0302-2014 tidak mencantumkan batas maksimum kadar Fe₂O₃ dalam semen. Semakin banyak penambahan fly ash di dalam semen maka semakin tinggi kadar Fe₂O₃. Warna pada semen dipengaruhi oleh senyawa kalsium alumina ferrit (C₄AF) yang terbentuk dari Al₂O₃, Fe₂O₃ dan CaO.

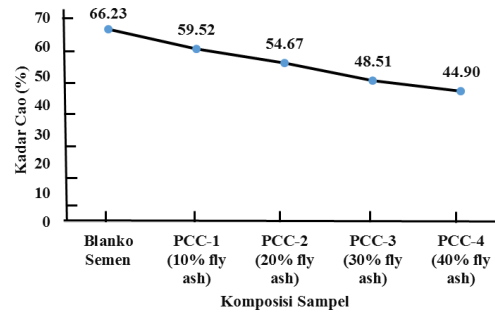


Gambar 6. Komposisi Fe₂O₃ dalam Semen PCC

d. Hasil komposisi CaO dalam Semen PCC

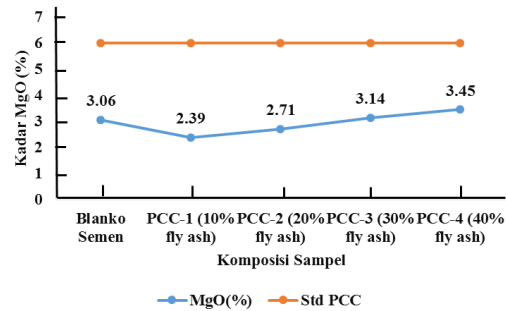
Gambar 7 menunjukkan bahwa kadar CaO terendah terdapat pada PCC-4 (40% fly ash) sebesar 44,90 % dan kadar CaO tertinggi terdapat pada PCC-1 (10% fly ash) sebesar 59,52 %. SNI 0302-2014 tidak mencantumkan batas maksimum kadar CaO dalam semen. Semakin banyak penambahan fly ash maka kadar CaO yang diperoleh semakin rendah dan juga karena substitusi pemakaian klinker yang semakin berkurang.

Hal ini disebabkan kandungan CaO pada fly ash tergolong rendah dibandingkan dengan batu kapur dan penambahan batu kapur pada PCC ini tidak dilakukan variasi sehingga menghasilkan kadar CaO pun dalam PCC semakin rendah. CaO juga merupakan senyawa yang bereaksi dengan senyawa silika, alumina dan besi yang membentuk senyawa penyusun utama semen yaitu C₂S dan C₃S.



Gambar 7. Komposisi CaO dalam Semen PCC

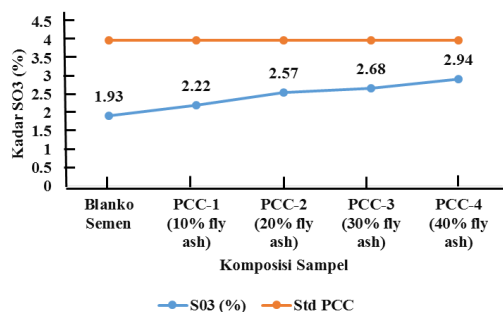
e. Hasil komposisi MgO dalam Semen PCC



Gambar 8. Komposisi MgO dalam Semen PCC

Gambar 8 menunjukkan bahwa kadar MgO terendah terdapat pada PCC-1 (10% fly ash) sebesar 2,39% dan kadar MgO tertinggi terdapat pada PCC-4 (40% fly ash) sebesar 3,45%. Pada SNI 0302-2014 batas maksimum kadar MgO dalam semen adalah 6,00 %. Kadar MgO pada semua kode semen PCC memenuhi spesifikasi SNI 0302-2014 yang dipersyaratkan. Semakin banyak penambahan fly ash di dalam semen maka semakin tinggi kadar MgO. MgO terutama diperoleh dari penguraian (dekomposisi) dolomit, CaCO₃, MgCO₃ yang terdapat dalam batu kapur dan dapat juga berasal dari mineral-mineral tanah liat. Semen yang mengandung MgO dengan

kadar yang terlalu tinggi menyebabkan semen mengalami ekspansi yang dapat merusak konstruksi bangunan dan menyebabkan menurunnya kualitas semen (Lamond & Pielert, 2006).



Gambar 9. Komposisi SO₃ dalam Semen PCC

f. Hasil komposisi SO₃ dalam Semen PCC

Gambar 9 menunjukkan bahwa kadar SO₃ terendah terdapat pada PCC-1 (10% fly ash) sebesar 2,22 % dan kadar SO₃ tertinggi terdapat pada PCC-1 (10% fly ash) sebesar 2,94 %. Pada SNI 15-0302-2014 batas maksimum kadar SO₃ yang ditetapkan adalah 4,00%. Semua kode semen PCC mengandung kadar SO₃ yang memenuhi persyaratan SNI 0302-2014.

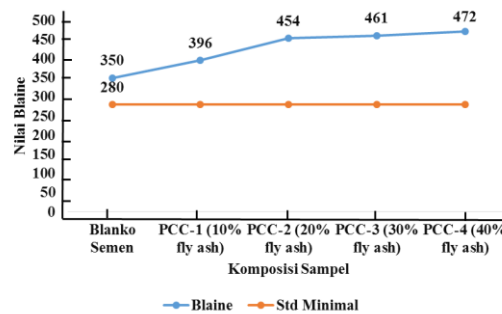
Hasil Uji Fisika

Uji fisika yang meliputi uji kehalusan (blaine), uji kadar air, uji air contain, uji pemuaiian (autoclaf), dan uji setting time. Hasil uji fisika dapat dilihat pada Tabel 7.

1. Pengaruh Komposisi PCC Terhadap Kehalusan Semen dengan Alat Blaine

Gambar 10 menunjukkan hasil analisis yang telah dilakukan diperoleh bahwa blaine

terendah terdapat pada PCC-1 (10% fly ash) sebesar 396 m²/kg dan blaine tertinggi terdapat pada PCC-4 (40% fly ash) sebesar 472 m²/kg. Batas minimum kehalusan (blaine) yang ditentukan oleh SNI 0302-2014 yaitu minimum 280 m²/kg, jadi kehalusan (blaine) PCC masih memenuhi spesifikasi SNI 15-0302-2014 yang dipersyaratkan.



Gambar 10. Pengaruh komposisi Penambahan fly ash pada semen terhadap kehalusan

Uji kehalusan dan uji residu ini dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel dari semen, semakin kecil ukuran partikelnya maka residu yang tertinggal di saringan akan semakin sedikit dan menghasilkan nilai kehalusan yang tinggi. Kehalusan (blaine) berbanding terbalik dengan hasil residu. Semakin halus semen maka kadar residu pun semakin kecil, begitupun sebaliknya. Kecepatan reaksi hidrasi semen akan bertambah cepat dengan semakin halusnya ukuran partikel semen, karena semakin halus ukuran partikel semen maka luas permukaannya lebih besar dan reaksi dengan air (hidrasi) semakin cepat.

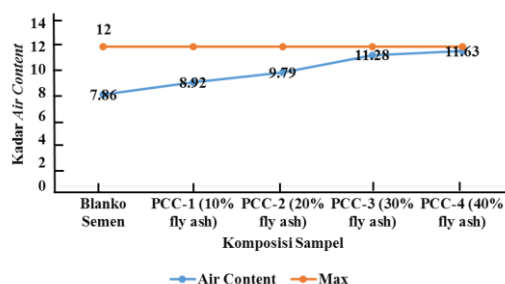
Tabel 7. Hasil Uji Fisika

Kode	Pengujian Fisika							
	Blaine (m ² /Kg)	Residu 45u (%)	Air Contain (%)	Pemuaiian Autoclaf (%)	NC	Setting Time (menit)		
STD	Min. 280		maks. 12	Maks. 0.80		Penetrasi	Initial	Final
							Min. 45 menit	maks. 7 jam (420 menit)
Blanko semen	350	8,81	7,86	0,05	23,84	10	152	237
PCC-1 FA 10%	396	7,94	8,92	0,06	26,77	10	172	277
PCC-2 FA 20%	454	6,75	9,79	0,08	26,88	10	177	287
PCC-3 FA 30%	461	5,37	11,28	0,09	26,92	9	184	292
PCC-4 FA 40%	472	3,86	11,63	0,12	27,12	10	196	298

Semakin halus ukuran partikel semen maka semakin cepat terjadi hidrasi dan semakin cepat juga mengeras (Suprpto, 1995).

2. Pengaruh Komposisi PCC Terhadap Uji Kandungan Udara / Air Contain

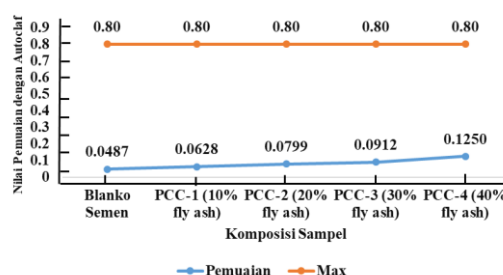
Semakin banyak penambahan *fly ash* maka semakin halus semen yang dihasilkan, permukaan pori-pori pada semen semakin banyak sehingga udara yang dapat masuk kedalam pori-pori semakin banyak. Nilai kandungan udara terendah berada pada semen PCC-1 (10% *fly ash*) sebesar 8,92 % sedangkan nilai kandungan udara tertinggi berada pada semen PCC-4 (40% *fly ash*) sebesar 11,63 %. Berdasarkan SNI kandungan udara maksimum 12 % itu artinya bahwa pembuatan PCC dari 1-4 memenuhi persyaratan.



Gambar 12. Pengaruh Komposisi Penambahan *Fly Ash* Pada Semen terhadap Kandungan Udara (*Air Contain*)

3. Pengaruh komposisi PCC Terhadap Uji Pemuaihan Menggunakan Alat Autoclaf

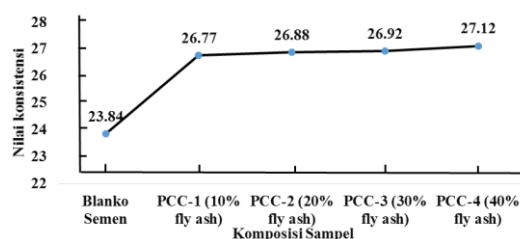
Uji pemuaihan autoclaf bertujuan untuk melihat secara fisik dalam pembuatan semen PCC menggunakan *fly ash* terjadi pemuaihan atau penyusutan dalam pemanasan dengan tekanan tinggi. Dari hasil data yang diperoleh tidak terlalu signifikan perbedaannya, sehingga pemuaihan yang terjadi sangat kecil. Pemuaihan terendah terjadi pada semen PCC-1 (10% *fly ash*) sebesar 0,04% sedangkan pemuaihan paling tinggi terjadi pada semen PCC-4 (40% *fly ash*) sebesar 0,10 % dikarenakan pemakaian *fly ash* yang semakin banyak mengakibatkan adanya penambahan panjang dari pasta semen yang dibuat namun dapat disimpulkan pemuaiannya kecil. Seperti terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Pengaruh Komposisi Penambahan *Fly Ash* Pada Semen Terhadap Kadar Pemuaihan

4. Pengaruh Komposisi PCC Terhadap Uji Normal Consistency

Gambar 14 menunjukkan bahwa NC terendah terdapat pada PCC-1 (10% *fly ash*) sebesar 26,77% dan NC tertinggi terdapat pada PCC-4 (40% *fly ash*) sebesar 27,12 %. Penentuan *Normal Consistency* (NC) ini tidak ada batasan khusus yang diatur oleh SNI 0302-2014. Konsistensi normal adalah suatu nilai perbandingan antara massa air yang digunakan dalam massa semen yang dinyatakan dalam persen. Semen sebagai perekat hidrolis memerlukan air untuk proses hidrasi. Banyaknya air untuk proses hidrasi sangat tergantung dari komposisi senyawa dalam semen. Jika air untuk proses hidrasi tersebut kurang, maka tidak semua butiran semen akan terhidrasi, demikian pula jika air terlalu banyak, maka kekuatan pasta (semen campur air) semen akan menurun. Untuk itu perlu diketahui banyaknya air yang diperlukan, maka dilakukan pengujian konsistensi normal (Lamond & Pielert, 2006).

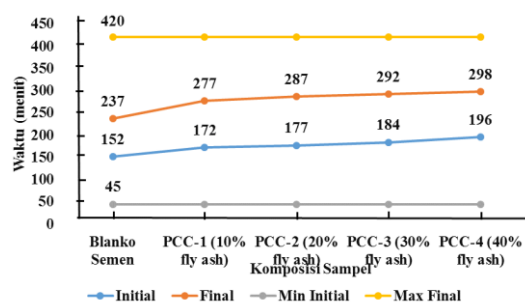


Gambar 14. Pengaruh Komposisi Penambahan *Fly Ash* Pada Semen Terhadap Uji *Normal Consistency*

5. Pengaruh Komposisi PCC Terhadap Uji Setting Time

Gambar 15 menunjukkan bahwa *initial setting time* (waktu ikat awal) terendah terdapat pada PCC-1 (10% *fly ash*) selama 172 menit dan *initial setting time* tertinggi terdapat pada PCC-4 (40% *fly ash*) selama 196 menit. Batas minimum *initial setting time* (waktu ikat awal) yang ditentukan oleh SNI 0302-2014 adalah minimum 45 menit jadi *initial setting time* PCC ini memenuhi spesifikasi SNI 0302-2014 yang dipersyaratkan.

Gambar 15 menunjukkan bahwa *final setting time* (waktu ikat akhir) tercepat terdapat pada PCC-1 (10% *Fly ash*) selama 277 menit. Nilai Initial Setting terlama terdapat pada PCC-4 (40% *Fly ash*) selama 298 menit. Batas maksimum *final setting time* (waktu ikat akhir) yang ditentukan oleh SNI 0302-2014 adalah maksimum 7 jam atau 420 menit jadi *final setting time* PCC ini memenuhi spesifikasi SNI 0302-2014 yang dipersyaratkan. Gambar 15 menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* pada PCC akan berpengaruh pada peningkatan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pada semen.



Gambar 15. Pengaruh Komposisi Penambahan *Fly Ash* Pada Semen Terhadap Setting Time

Proses *setting time* adalah perubahan pasta semen dalam keadaan plastis menjadi solid, segera setelah *setting time* dari pasta semen tidak kuat dan kekuatan desaknya menjadi kecil. Dengan berlalunya waktu dan bersamaan dengan proses hidrasi, pasta semen tersebut menjadi keras dan dengan sendirinya kekuatan desaknya menjadi bertambah. Selama proses pengerasan dari pasta ke massa yang keras seperti batu,

semen mengalami dua tipe *setting time* yaitu *intial setting time* dan *final setting time*. *Intial setting time* berlangsung saat semen mulai menjadi kaku setelah semen dicampur dengan air. Setelah *intial setting time*, pasta semen masih dalam keadaan keras dan makin menjadi kaku dan cukup kuat menahan tekanan.

Pada reaksi semen, C_3A akan bereaksi paling cepat menghasilkan CAH (*Calcium Aluminate Hydrate*) berbentuk gel dan bersifat kaku. Tetapi CAH akan beraksi dengan gipsium membentuk *ettringite* yang akan membungkus permukaan CAH dan C_3A sehingga reaksi C_3A akan dihalangi dengan proses *setting* akan dicegah. Namun demikian, lapisan *ettringite* tersebut karena adanya fenomena osmosis akan pecah dan reaksi hidrasi C_3A akan terjadi lagi, tetapi segera pula akan terbentuk *ettringite* yang baru kembali, proses ini akan menghasilkan *setting time*. Oleh karena itu diperlukan gipsium pada penambahan aditif semen.

Setting time dipengaruhi oleh kandungan SO_3 dan kandungan C_3A di dalam semen. Pada penelitian ini digunakan gipsium dengan kadar konsentrasi tetap 3% dari semen sehingga tidak dapat dilihat pengaruhnya. Kadar C_3A dalam klinker pun dapat mempengaruhi *setting time*. Klinker yang ditambahkan dari PPC-1 sampai PPC-8 semakin sedikit, jadi kadar C_3A pun semakin sedikit. Semakin banyak kandungan C_3A maka *setting time* cenderung semakin pendek (Roosyanto, 1992).

6. Pengaruh Komposisi PPC Terhadap Kuat Tekan (Compressive Strength)

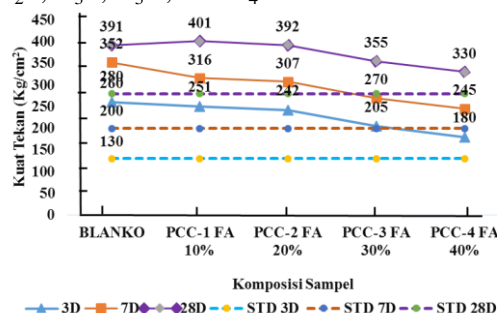
Kuat tekan merupakan kemampuan suatu bahan atau struktur dalam menahan beban tekan. Kuat tekan adalah karakteristik yang paling utama untuk semen. Perbedaan kuat tekan semen dipengaruhi oleh komposisi mineral, magnesium, kandungan gipsium, kapur bebas, suhu, rasio air dengan semen, kualitas agregat, perlakuan, dan cara pengerjaan. Kecepatan pengembangan kuat tekan semen dipengaruhi oleh komposisi mineral yang terkandung dalam semen. Mineral utama yang terkandung dalam semen yaitu C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF yang memiliki reaktifitas berbeda-beda ketika bereaksi dengan air (Suprpto, 1995). Berikut hasil pengujian

kuat tekan semen PCC ditampilkan dalam Tabel 8.

Gambar 16 menunjukkan bahwa kuat tekan terendah umur 7 hari terdapat pada PCC-4 (40% *fly ash*) sebesar 245 m²/Kg dan kuat tekan tertinggi umur 7 hari terdapat pada PCC-1 (10% *fly ash*) sebesar 316 m²/Kg. Batas minimum kuat tekan umur 7 hari yang ditentukan oleh SNI 0302-2014 adalah minimum 200 kg/cm² jadi kuat tekan PCC ini memenuhi spesifikasi SNI 0302-2014 yang dipersyaratkan.

Kuat tekan terendah umur 28 hari terdapat pada PCC-4 (40% *Fly ash*) sebesar 330 kg/cm² dan kuat tekan tertinggi umur 28 hari terdapat pada PCC-1 (10% *Fly ash*) sebesar 401 kg/cm². Batas minimum kuat tekan umur 28 hari yang ditentukan oleh SNI 0302-2014 adalah minimum 280 kg/cm² jadi kuat tekan PCC ini memenuhi spesifikasi SNI 0302-2014 yang dipersyaratkan. Kenaikkan kuat tekan semen pada penambahan *fly ash* terjadi karena secara kimiawi *fly ash* bersifat hidrolis yang bereaksi mengikat kapur bebas atau Ca(OH)₂ yang dilepaskan semen saat proses hidrasi. Reaksi kimia yang terjadi tersebut membuat kapur bebas yang semula adalah mortar udara mengeras bersama air dan *fly ash* yang akhirnya mempengaruhi kekuatan tekan semen. Kadar Ca(OH)₂ akibat proses hidrasi yang berkurang karena adanya pengikatan yang terjadi dengan *fly ash* menyebabkan porositas dan permeabilitas berkurang sehingga membuat mortar lebih padat dan lebih kuat. *Fly ash* yang butirannya lebih halus dari semen dalam mortar secara mekanik juga akan mempengaruhi kuat tekan mortar sehingga menambah kedekatan dan memudahkan pengerjaan.

Penambahan *fly ash* ke dalam semen berpengaruh terhadap kuat tekan semen. Semakin besar persentase *fly ash* yang ditambahkan maka semakin rendah kuat tekan semen tersebut. Semakin banyak *fly ash* yang ditambahkan, maka klinker yang digunakan menjadi semakin berkurang. Salah satu faktor yang meningkatkan kuat tekan pada semen yaitu senyawa-senyawa yang terkandung di dalam klinker seperti C₂S, C₃S, C₃A, dan C₄AF.



Gambar 16. Komposisi *Fly Ash* terhadap Kuat Tekan Semen

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh optimasi waktu penghalusan limbah *fly ash* yaitu selama 15 detik dengan pengujian blaine sebesar 878 cm²/g dengan nilai residu *fly ash* sebesar 26,2 %. Waktu grinding pada 15 detik paling optimum dan terhomogenisasi dengan cepat. Uji kimia meliputi uji kapur bebas, uji bagian tak larut, uji halar pijar dan uji dengan XRF (*X-Ray Fluorescence*), sedangkan uji fisika meliputi uji kehalusan, uji residu, uji kandungan air, uji pemuai, uji *setting time*, dan uji kuat tekan. Dalam penelitian ini, hasil yang diperoleh dari uji kimia dan fisika dengan penambahan sampel *fly ash* 10% - 30% masih memenuhi persyaratan SNI 0302-201.

Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan semen PCC

Kode Semen	Kuat Tekan		
	3 Hari (m ² /Kg)	7 Hari (m ² /Kg)	28 Hari (m ² /Kg)
STD	min 130	min 200	min 280
Blanko	260	352	391
PCC-1 FA 10%	251	316	401
PCC-2 FA 20%	242	307	392
PCC-3 FA 30%	205	270	355
PCC-4 FA 40%	180	245	330

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Material. (2016). *ASTM C109 Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars*. Annual Book of ASTM Standard Section 4. United States of America: ASTM International.
- American Society for Testing and Material. (2016). *ASTM C204-96 Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air Permeability Apparatus*. Annual Book of ASTM Standard Section 4. United States of America: ASTM International.
- American Society for Testing and Material. (2016). *ASTM C430 Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by The 45 μ m (no 325) sieve*. Annual Book of ASTM Standard Section 4. United States of America: ASTM International.
- American Society for Testing and Material. (2016). *ASTM C114 Standard Test Method for Chemical Analysis*. Annual Book of ASTM Standard Section 4. United States of America: ASTM International.
- American Society for Testing and Material. (2016). *ASTM C187 Standard Test Method for Normal Consistency*. Annual Book of ASTM Standard Section 4. United States of America: ASTM International.
- Lamond, J. F., & Pielert, J. H. (2006). *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials*. United States of America: ASTM International.
- Lea, F. M., & Desch, C. H. (1976). *The Chemistry of Cement and concrete. Third Edition*. London: Edward Arnold Ltd.
- Lutfy, A. B., Genta, A., Rachmimoellah, & Romanus, K. T. N. (2013). *Pengeringan Low Rank Coal dengan Menggunakan Metode Pemanasan tanpa Kehadiran Oksigen* (bachelor's thesis). Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Indonesia.
- Maryoto, A. (2008). *Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash Pada Kuat Tekan Mortar* (bachelor's thesis). Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto, Indonesia.
- Rendy. (2014). *Analisis Batubara dalam Penentuan Kualitas Batubara untuk Pembakaran bahan baku semen*. PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk, Bandung.
- Roosyanto, S. (1992). *Instrumentasi*. Industrial Relation Divison Training and Development Dept. PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk, Bogor.
- Standar Nasional Indonesia. (2014). *SNI 15-0302-2004 Semen Portland Pozzolan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2014). *SNI 15-2049-2004 Semen Portland*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Suprpto, B. B. (1995). *Teknologi Semen*. Industrial Relation Divison Training and Development Dept. PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk, Bogor.
- Vera, Roosyanto, & Erry. 2000. *Semen Portland Bahan Baku Sifat-Sifat dan Pengujian*. Industrial Relation Divison Training and Development Dept. PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk, Bogor.

KARAKTERISASI KOPI ARABIKA (*Coffea arabica* L.) HASIL FERMENTASI DENGAN BAKTERI ASAM LAKTAT (*Lactobacillus* sp)

Zakia Arachmah Siregar¹⁾, RTM Suthamihardja¹⁾, Devy Susanty^{1)*}
¹⁾Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Nusa Bangsa
Jl.KH Sholeh Iskandar Km 4, Tanah Sareal, Bogor 16166, Indonesia
*e-mail: dvsusanty@gmail.com

ABSTRACT

Characterization of Fermented Arabic Coffee (Coffea Arabica L.) with Lacto Acid Bacteria (Lactobacillus Sp)

Coffee bean fermentation is one of a series of processes for making ground coffee that can affect coffee quality. In this study the fermentation of Arabica coffee beans was carried out using lactic acid bacteria (*Lactobacillus* sp) in the form of a starter. The analysis was carried out on five samples, namely brand a coffee samples (sample A), coffee samples processed without bacteria (sample B), coffee samples processed with the addition of bacteria and substrate as many as 10:90 (sample C), 20:80 (sample D), 30:70 (sample E). The five coffee samples were analyzed for water content, pH, extract content, ash content, and caffeine content. Identification of caffeine was carried out by the UV-Vis spectrophotometric method at a wavelength of 275.0397 nm. The highest caffeine content was in sample C at 0.95% and the lowest caffeine content was in sample E 0.71%. The highest extract content was found in sample E at 27.72% and the lowest content in C at 24.60%. The highest water content results were found in sample C of 4.56% and the lowest in sample E of 4.26%. The highest ash content was found in coffee C samples at 4.98% and the lowest ash content in E at 4.43%. The highest value of the degree of acidity (pH) was found in sample B (6.19) and the lowest in sample A (5.41). The results showed that the Arabica ground coffee met the SNI 01-3542-2004 requirements on parameters of moisture content, extract content, ash content and caffeine content.

Keywords: Arabica coffee, fermentation, *Lactobacillus* sp, Caffeine

ABSTRAK

Fermentasi biji kopi merupakan salah satu rangkaian proses pengolahan pembuatan kopi bubuk yang dapat mempengaruhi kualitas kopi. Pada penelitian ini fermentasi biji kopi Arabica dilakukan menggunakan bakteri asam laktat (*Lactobacillus* sp) dalam bentuk starter. Analisis dilakukan terhadap lima sampel yaitu sampel kopi merk a (sampel A), sampel kopi yang diproses tanpa bakteri (sampel B), sampel kopi yang diproses dengan penambahan bakteri dan substrat sebanyak 10:90 (sampel C), 20:80 (sampel D), 30:70 (sampel E). Kelima sampel kopi tersebut dianalisis kadar air, pH, kadar sari, kadar abu, dan kadar kafein. Identifikasi kafein dilakukan dengan metode spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 275,0397 nm. Kadar kafein tertinggi terdapat pada sampel C sebesar 0,95 % dan kadar kafein terendah pada sampel E 0,71%. Kadar sari tertinggi terdapat pada sampel E sebesar 27,72% dan kadar sari terendah pada C sebesar 24,60%. Hasil kadar air tertinggi terdapat pada sampel C sebesar 4,56% dan kadar terendah pada sampel E sebesar 4,26%. Kadar abu tertinggi terdapat pada sampel kopi C sebesar 4,98% dan kadar abu terendah pada E sebesar 4,43%. Nilai derajat keasaman (pH) tertinggi didapatkan pada sampel B yaitu sebesar 6,19 dan terendah pada sampel A yaitu 5,41. Hasil uji menunjukkan bahwa kopi bubuk arabika dengan proses fermentasi menggunakan bakteri asam laktat memenuhi syarat SNI 01-3542-2004 pada parameter kadar air, kadar sari, kadar abu dan kadar kafein.

Kata kunci: Kopi arabika, fermentasi, *Lactobacillus* sp, Kafein

<https://doi.org/10.31938/jsn.v10i2.285>

PENDAHULUAN

Kopi arabika (*Coffea arabica* L.) merupakan kopi dengan cita rasa yang paling baik dibanding jenis kopi lainnya. Biji kopi arabika berbentuk picak berukuran besar dengan bobot 18-22 g tiap 100 biji. Kopi arabika mengandung 1-1,3% kafein dengan cita rasa khas dan sedikit asam (Najiyati dan Danarti, 2004). Kualitas kopi bubuk selain ditentukan oleh jenis kopinya, juga dipengaruhi oleh pengolahannya.

Kopi bubuk diperoleh melalui serangkaian kegiatan pengolahan biji kopi, yang dilanjutkan dengan proses penyangraian dan penggilingan. Pengolahan biji kopi dapat dilakukan dengan cara kering (*Ost Indische Bereiding*) ataupun cara basah (*Wash Indische Bereiding*) (Siswaputranto, 1993). Kedua jenis pengolahan tersebut dilakukan melalui proses fermentasi (Hoffman, 2014). Menurut Panggabean (2011) proses fermentasi dilakukan untuk melepaskan lapisan lendir yang terdapat pada biji kopi. Disamping itu, pengolahan biji kopi melalui proses fermentasi dapat meningkatkan cita rasa (Towaha dan Rubiyo, 2016). Hal ini menjadikan fermentasi sebagai tahapan yang penting pada pengolahan biji.

Fermentasi biji kopi dibantu oleh adanya aktivitas mikroorganisme yang ada pada lingkungan (Frank *et al.*, 1996). Mikroorganisme menjadikan lapisan lendir sebagai sumber nutrisi (Board, 1983), karena kaya akan pektin dan gula (Murthy dan Naidu, 2011). Kulit kopi, lendir, dan kulit tanduk kopi merupakan sumber adanya mikroorganisme. Campuran khamir (*yeast*) dan bakteri biasanya berperan pada proses fermentasi. Mutu kopi arabika dapat ditingkatkan dengan menambahkan kultur mikroorganisme pada proses fermentasi (Suarez – Quiroz *et al.*, 2008). Bakteri asam laktat (*Lactobacillus* sp) merupakan jenis inokulan yang aman ditambahkan pada proses fermentasi karena memiliki kemampuan adaptasi pada kondisi proses pengolahan kopi, sehingga menghasilkan rasa yang khas. Menurut Usman *et al.* (2015), jumlah inokulum bakteri, waktu, substrat (medium) dan nilai pH merupakan

beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses fermentasi. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi kopi arabika hasil fermentasi dengan penambahan bakteri asam laktat (*Lactobacillus* sp). Parameter yang dianalisis yaitu kadar air, pH, kadar sari, kadar abu, dan kadar kafein.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah akuades, amil alkohol, amonia (NH₄OH), HCl pekat, etanol, feri klorida (FeCl₃), kalsium karbonat (CaCO₃), kloroform (CHCl₃), sampel biji kopi arabika yang berasal dari Cipanas, Bogor dan kopi bubuk bermerek A, pita magnesium, standar kafein, starter *Lactobacillus* sp.

Alat-alat yang digunakan adalah cawan porselen, desikator, oven, *hotplate*, inkubator, kertas saring, sudip, neraca analitik *Ohaus*, penangas air, peralatan gelas, pH meter, wajan *stainless steel*, spektrofotometer UV *optizen*, tanur *thermo scientific*, termometer, termometer besi, dan ayakan 60 *mesh*.

Metode

Tahapan metode penelitian antara lain preparasi sampel, penetapan kadar air, derajat keasaman, kadar abu, kadar sari, dan kadar kafein

1. Preparasi sampel Kopi

Pada penelitian ini sampel kopi yang digunakan yaitu kopi arabika dengan variasi: Kopi bubuk Arabika Merk tertentu (A); Kopi bubuk Arabika yang diproses tanpa fermentasi menggunakan bakteri asam laktat (B) ; Kopi bubuk Arabika yang diproses dengan penambahan bakteri 10 mL dan substrat 90 mL (C); Kopi bubuk Arabika yang diproses dengan penambahan bakteri 20 mL dan substrat 80 mL (D); Kopi bubuk Arabika yang diproses dengan penambahan bakteri 30 mL dan substrat 70 mL (E).

2. Fermentasi (Wilujeng dan Wikandari, 2013; Usman et al., 2015; modifikasi)

a. *Persiapan/ Pembuatan Medium Fermentasi*

Kulit biji kopi sebagai substrat disiapkan sebanyak 200 gram, ditambahkan akuadest sebanyak 1000 mL, kemudian dihaluskan menggunakan blender. Jumlah substrat yang digunakan pada saat fermentasi yaitu 90; 80; 70 mL dan diinokulasikan 10; 20; 30 mL starter *Lactocacillus* sp.

b. *Preparasi Fermentasi Biji Kopi Alami*

Biji kopi arabika disiapkan sebanyak 100 gram, difermentasi secara alami selama 20 jam. Biji kopi yang telah difermentasi dicuci dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama 25 jam. Biji kopi yang telah dikeringkan, kulit tanduknya dikupas kemudian biji kopi disangrai secara manual, lalu dihaluskan sehingga menjadi kopi bubuk.

c. *Preparasi Fermentasi Biji Kopi dengan Penambahan Bakteri Asam Laktat (BAL)*

Biji kopi arabika disiapkan sebanyak 300 gram, difermentasi dengan penambahan bakteri asam laktat (*Lactobacillus* sp.) masing-masing sampel ditambahkan bakteri sebanyak 10; 20; 30 mL dan substrat sebanyak 90; 80 ; 70 mL selama 20 jam. Biji kopi yang telah difermentasi dicuci dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama 25 jam. Biji kopi yang telah dikeringkan, kulit tanduknya dikupas kemudian biji kopi disangrai secara manual, lalu dihaluskan sehingga menjadi kopi bubuk.

3. *Karakterisasi Kopi Bubuk Arabika Hasil Fermentasi*

Biji kopi yang telah menjadi bubuk dilakukan pengujian kadar air, kadar sari, kadar abu dengan metode sesuai SNI 01-3542-2004, pengukuran pH dengan pH

meter dan kadar kafein dengan metode spektrofotometri (fitri, 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kopi Hasil fermentasi dengan Bakteri Asam Laktat

Pembuatan kopi beras (biji kopi kering) dari buah kopi dapat melalui cara basah dan cara kering. Menurut Pastianiasih (2012), pengolahan yang tidak tepat dapat mengakibatkan biji kopi terfermentasi berlebihan (*fermented*). Pada penelitian ini dilakukan pengolahan biji kopi secara basah. Pengolahan secara basah mendapatkan kualitas yang lebih baik dan hasil yang lebih seragam. Pencucian bertujuan untuk membersihkan lendir yang melekat pada biji. Kulit kopi yang terdiri dari 80% pectin dan 20% gula dijadikan substrat pada fermentasi kopi (Muchtadi, 2010). Masing-masing sampel kopi dilakukan fermentasi anaerob fakultatif dengan menggunakan plastik. Sampel mengalami perbedaan dimana pada sampel C warna yang dihasilkan lebih coklat dibandingkan dengan sampel D dan E (Gambar 1).



Gambar 1. Fermentasi Biji Kopi Arabika



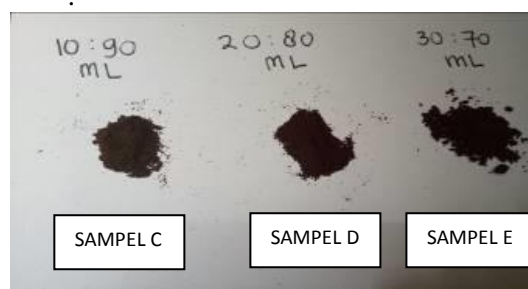
Gambar 2. Hasil Penyangraian Biji Kopi

Proses penyangraian kopi beras arabika dilakukan dengan menggunakan kompor gas dengan wajan *stainless steel* yang dilengkapi dengan termometer besi yang di simpan didekat api kompor. Penyangraian bisa dilakukan dengan alat mesin sangrai yang berputar secara kontinu. Biji kopi yang disangrai dengan mesin ini akan dihasilkan biji kopi yang matang secara merata dan suhu yang digunakan selama penyangraian konstan. Penyangraian dengan menggunakan sumber panas kompor tidak dapat diukur secara pasti suhunya karena kurangnya peralatan yang mendukung untuk mengukur suhu. Oleh karena itu, agar suhu pada saat penyangraian menggunakan kompor dapat terukur digunakan termometer besi yang diletakkan diapi kompor untuk mengukur suhu pada saat penyangraian. Untuk menstabilkan suhu yang terukur pada termometer dilakukan dengan cara mengatur besar kecilnya api.

Pada penelitian ini dilakukan penyangraian dengan suhu $\pm 200^{\circ}\text{C}$ yang menunjukkan warna biji kopi yang dihasilkan berwarna coklat kehitaman (Gambar 2) serta aroma kopi pekat. Pada proses sangrai, dimungkinkan terjadinya perubahan kimia yang dapat dilihat dari perubahan warna biji kopi dari hijau kebiruan menjadi coklat kehitaman (Rachmawati, 2010). Menurut Panggabean (2011), biji arabika mengandung 0,6-1,3 % senyawa trigonelin yang mengalami degradasi menjadi komponen heterosiklik piridin yang memberikan aroma pada kopi. Aroma pada kopi terbentuk pada menit terakhir proses penyangraian dari hasil pirolisis gula, karbohidrat dan protein dalam sel.

Kopi bubuk diperoleh dari penggilingan kopi yang telah disangrai dengan tujuan

membuka permukaan kopi sangrai hasil dari gesekan permukaan biji dengan piringan pada alat giling seperti blender (Najiyati dan Danarti, 2001). Bubuk kopi hasil penggilingan memiliki permukaan yang lebih luas sehingga meningkatkan koloid yang larut saat diseduh.



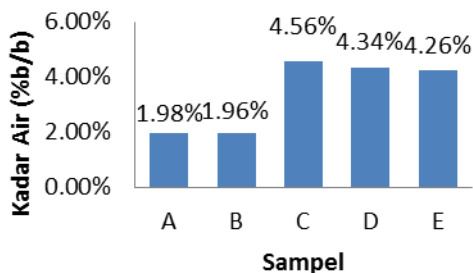
Gambar 3. Hasil Penggilingan Biji Kopi

Dari hasil (Gambar 3) terlihat bahwa ukuran partikel kopi bubuk yang diperoleh seragam karena menggunakan saringan 60 mesh. Kopi bubuk dengan ukuran partikel yang lebih besar dari 60 mesh tidak akan ikut tersaring sedangkan kopi bubuk dengan ukuran partikel 60 mesh akan tersaring sehingga akan diperoleh kopi bubuk dengan ukuran yang seragam. Warna dan rasa kopi dapat dipengaruhi oleh ukuran partikelnya. Dengan ukuran yang kecil, permukaan lebih luas, sehingga komponen pada kopi lebih banyak larut saat diseduh (Yeretzian *et al.*, 2012). Selain itu, menurut Nopitasari (2002), kandungan karbondioksida pada kopi akan lepas dengan proses penggilingan.

Kadar Air

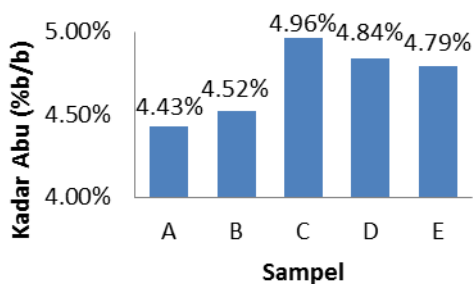
Kandungan air yang masih tinggi dalam bahan pangan menyebabkan produk mudah mengalami kerusakan. Menurut Kustiyah (1985), kandungan air suatu bahan perlu

untuk diketahui karena air dapat mempengaruhi penampakan, tekstur, serta citarasa bahan tersebut. Hasil pengujian kadar air pada kopi bubuk berkisar antara 1,96–4,56 %b/b (Gambar 4). Hal ini menunjukkan bahwa kadar air masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan pada SNI 01-3542-2004 tentang kopi bubuk yaitu maksimal 7 %b/b.



Gambar 4. Kadar Air Kopi Bubuk

Kadar air sampel C merupakan kadar air yang tertinggi yaitu sebesar 4,56% b/b hal ini diduga karena pada sampel biji kopi ketika di fermentasi penambahan substratnya lebih banyak yaitu 90 mL yang mengandung air lebih banyak sehingga menyebabkan nilai kadar air yang dihasilkan pun lebih tinggi. Kadar air yang rendah dapat meningkatkan ketahanan pangan selama penyimpanan (Pastiniasih, 2012).



Gambar 5. Kadar Abu Kopi Bubuk

Kadar Abu

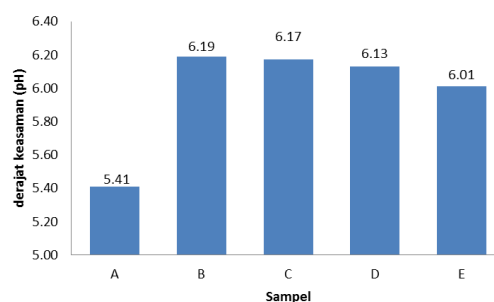
Kadar abu menunjukkan jumlah material yang terdapat dalam suatu bahan. Kandungan material pada kopi dapat berupa unsur kelumit yang dibutuhkan tanaman dalam pertumbuhan. Menurut Martin *et al* (1999), kandungan material dalam kopi dipengaruhi oleh kandungan hara di

lingkungan tempat tumbuhnya dan penggunaan pupuk selama pemeliharaan.

Hasil pengujian kadar abu pada semua sampel kopi arabika berkisar antara 4,43 – 4,96 %b/b (Gambar 5). Hal ini menunjukkan bahwa kadar abu masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan pada SNI 01-3542-2004 tentang kopi bubuk yaitu maksimal 5 %b/b. Beberapa faktor yang mempengaruhi kadar abu diantaranya iklim, kondisi tanah, dan proses pemeliharaan tanaman kopi (Martin *et al.*, 1999).

Derajat Keasaman (pH)

Sampel kopi bubuk yang diuji memiliki pH berkisar antara 5,41-6,19 (Gambar 6). Berdasarkan hasil penelitian ini, semakin banyak bakteri asam laktat yang ditambahkan semakin rendah nilai derajat keasaman. Adanya aktivitas amilolitik meningkatkan degradasi pati menjadi glukosa, yang pada akhirnya membentuk lebih banyak asam laktat pada jumlah bakteri yang lebih banyak. Banyaknya asam laktat dapat menurunkan pH (Wilujeng dan Wikandari, 2014). Menurut Mulato (2002) beberapa senyawa alami dalam kopi memiliki sifat mudah menguap, diantaranya asam asetat, asam format, ester, dan aldehid. Perubahan nilai pH dapat menjadi indikator perubahan secara kimiawi dalam biji kopi. Kandungan senyawa asam pada kopi mempengaruhi derajat keasaman kopi.

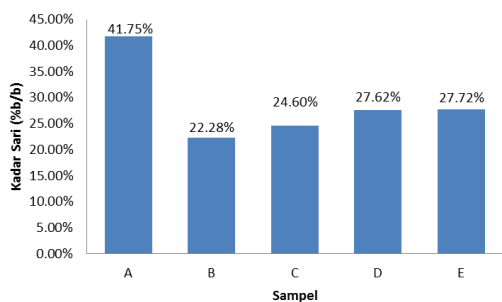


Gambar 6. Derajat Keasaman (pH)

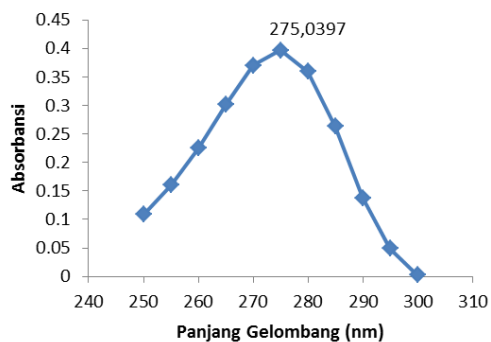
Kadar Sari

Kadar sari menunjukkan banyaknya senyawa pada kopi yang dapat larut pada pelarut. Dari hasil penelitian terlihat bahwa pada sampel B, C, D, dan E masuk ke dalam persyaratan SNI 01-3542-2004 dengan batas maksimum 20-36 % (Gambar 7). Sampel A

memiliki nilai kadar sari lebih tinggi yaitu 41,75% masuk ke dalam persyaratan II SNI 01-3542-2004 yaitu dengan syarat maksimal kadar sari yang dihasilkan sebesar 60%. Menurut Yeretziyan *et al.*, (2012), ukuran partikel yang halus memudahkan lepasnya komponen kopi saat diseduh. Sampel C, D dan E memiliki ukuran yang seragam karena saat penyaringan bubuk menggunakan saringan dengan ukuran yang sama. Hal ini terlihat dari kadar sari yang tidak jauh berbeda. Komponen yang lepas dari kopi terbagi atas komponen larut air dan komponen yang membentuk emulsi dengan air. Pada umumnya komponen yang larut air ada yang bersifat mudah menguap sehingga memberikan aroma khas pada penyeduhan kopi (Buffo dan Cardelli-Freire 2004).



Gambar 7. Kadar Sari Kopi Bubuk

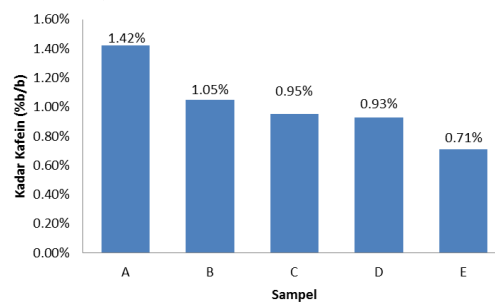


Gambar 8. Panjang Gelombang Maksimum Kafein

Kadar Kafein

Pada penelitian ini, penentuan kadar kafein dilakukan dengan metode spektrofotometri karena lebih efisien (Sabrina *et al.*, 2012). Pengukuran dilakukan pada panjang gelombang maksimum, yaitu 275 nm yang berada pada daerah UV (Gambar 8). Hasil penelitian kadar kafein

pada ke lima sampel masih memenuhi standar yang diizinkan berdasarkan SNI 01-3542-2004 tentang kopi bubuk yaitu 0,92-2 %b/b. Kadar kafein tertinggi diperoleh pada sampel A sebesar 1,42 % dan kadar kafein terendah pada sampel E sebesar 0,71% , dimana pada nilai 0,71% masuk ke dalam persyaratan ke II SNI 01-3542-2004 yaitu dengan syarat kadar kafein yang dihasilkan sebesar 0,45-2.0% b/b.



Gambar 9. Kadar Kafein Kopi Bubuk

Salah satu faktor yang mempengaruhi kadar kafein kopi yaitu varietasnya. Kopi robusta setelah penyangraian mempunyai kadar kafein yang tinggi yaitu 2 % b/b dibandingkan kopi arabika setelah penyangraian yang mempunyai kadar kafein yang lebih kecil yaitu 1 % b/b (Clarke dan Macrae, 1987). Menurut Farida *et al.* (2013) kadar kafein menurun seiring dengan lamanya waktu fermentasi. Kadar kafein juga berkurang seiring penguraian protein yang meningkatkan asam amino bebas (Macrone, 2004).

KESIMPULAN

Kadar kafein tertinggi untuk kopi bubuk dari hasil fermentasi menggunakan bakteri asam laktat yaitu sampel C sebesar 0,95 % dan yang terendah pada sampel E yaitu 0,71%. Kadar sari tertinggi terdapat pada sampel E sebesar 27,72% dan kadar sari terendah pada C sebesar 24,60%. Hasil kadar air tertinggi terdapat pada sampel C sebesar 4,56% dan kadar terendah pada sampel E sebesar 4,26%. Kadar abu tertinggi terdapat pada sampel kopi C sebesar 4,98% dan kadar abu terendah pada E sebesar 4,43%. Nilai derajat keasaman (pH) tertinggi didapatkan pada sampel B

yaitu sebesar 6,19 dan terendah pada sampel A yaitu 5,41. Hasil uji menunjukkan bahwa kopi bubuk arabika dengan proses fermentasi menggunakan bakteri asam laktat memenuhi syarat SNI 01-3542-2004 pada parameter kadar air, kadar sari, kadar abu dan kadar kafein.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional [BSN]. (2004). *SNI-01-3542-2004 Kopi Bubuk*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional [BSN]. (2008). *SNI-01-2907-2008 Biji Kopi*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional [BSN]. (2004). *SNI-01-2891-2004 Cara Uji Makanan dan Minuman*. BSN.
- Buffo, R.A. & Cardelli-Freire, C. (2004). Coffee flavour: An overview. *Flavour and Fragrance Journal*, 19, 99–104.
- Board, R. G. 1983. *A Modern Introduction to Food Microbiology* 1st ed.,: 1-50. Blackwell Scientific Publications. United States.
- Clarke, R. J. dan Macrae, R. (1985). *Coffee Volume 6 Commercial and Technico-Legal Aspects*. Elsevier Applied Science, London and New York.
- Clarke, R.J. dan Macrae, R. (1987). *Coffee Volume 1 Coffee Chemistry*. Elsevier Applied Science, London and New York.
- Farida, A., Evi, R., Kumoro, A. C. (2013). Penurunan Kadar kafein dan asam Total pada biji kopi robusta menggunakan teknologi fermentasi anaerob fakultatif dengan mikroba Nopkor MZ-15. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2 (3), 70-75.
- Fitri, N.S. (2008). *Pengaruh Berat dan Waktu Penyeduhan terhadap Kadar Kafein dari Bubuk Teh* (Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Frank, H. A., dan Cruz, A.S.D. (1996). *Bacteria Responsible for Mucilage Layer Decomposition in Kona Coffee Cherries*. <http://www.aem.asm.org>.
- Hadipernata, M., Nugraha, S. (2012). Identifikasi fisik, kimia dan mikrobiologi biji kopi luwak sebagai dasar acuan teknologi proses kopi luwak artificial. *J Kementan Pertan*. 372, 117-121.
- Hoffmann, J. (2014). *The World Atlas of Coffee: From Beans to Brewing – Coffees Explored, Explained and Enjoyed*. Firefly Books. North America
- Kustiyah, L. (1985). *Mempelajari Beberapa Karakteristik Kopi Bubuk dari Berbagai Jenis Cacat Biji Kopi* (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian, Bogor.
- Macrone, M. F. (2004). *Composition and Properties of Indonesian Palm Civet Coffee (Kopi Luwak) and Ethiopian Civet Coffee*. Department of Food Science, Ontario Agricultural College, Guelph, Ont., Canada.
- Martin, M.J., Pablos, F., Gonzales, A.G.(1999). Characterization of Arabica and Robusta Roasted coffee varieties and mixture resolution according to their metal content. *Food Chemistry*, 66, 365-370.
- Muchtadi, D. (2010). *Evaluasi Nilai Gizi Pangan*. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Mulato, S. (2002). *Pelarutan Kafein Biji Robusta dengan Kolom Tetap Menggunakan Pelarut Air*. Pelita Perkebunan. Jakarta.

- Murthy, P. S., dan Naidu, M. (2011). Improvement of Robusta Coffee Fermentation with Microbial Enzymes. *European Journal of Applied Sciences*, 3 (4): 130-139
- Najiyati, S dan Danarti. (2001). *Kopi Budidaya dan penanganan Lepas Panen*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Nopitasari, I. (2010). *Proses Pengolahan Kopi Bubuk (Campuran Arabika dan Robusta) Serta Perubahan Mutunya Selama Penyimpanan* (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Panggabean, E. (2011). *Buku Pintar Kopi*. PT Agro Media Pustaka. Jakarta.
- Pastiniasih, L. (2012). *Pengolahan Kopi Instan Berbahan Baku Kopi Lokal Buleleng, Bali (Campuran Robusta dan Arabika)* (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rachmawati, T. (2010). *Pengaruh Penambahan Bahan Aditif Dalam Proses Pengolahan Kopi Bubuk dan Perubahan Mutunya Selama Penyimpanan* (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sabrina, K., Wonorahardjo, S., Zakia, N. (2012). Perbandingan Metode Spektrofotometri UV-Vis dan KCKT (Kromatografi Cair Kinerja Tinggi) pada Analisis Kadar Asam Benzoat dan Kafein dalam Teh Kemasan. *Jurnal UNM*. Malang.
- Siswoputranto, P. S. (1993). *Kopi Internasional dan Indonesia*. Kanisius. Semarang.
- Suarez-Quiroz, M.L.; O. Gonzalez-Rios; E.I. Champion-Martinez & O. Angulo. (2008). Effects of lactic acid bacteria isolated from fermented coffee (*Coffea arabica*) on growth of *Aspergillus ochraceus* and Ochratoxin a production. *Proceeding 22nd International Conference on Coffee Science Campinas*, 542-546.
- Towaha, J dan Rubiyo. (2016). Mutu Fisik Biji dan Citarasa Kopi Arabika Hasil Fermentasi Mikrob Probiotik Asal Pencernaan Luwak. *J. TIDP*, 3(2), 61–70.
- Usman, D., Suprihadi, A., dan Kusdiyantini, E.. (2015). Fermentasi Kopi Robusta (*Coffea canephora*) Menggunakan Isolat Bakteri Asam Laktat Dari Feces Luwak Dengan Perlakuan Lama Waktu Inkubasi. *Jurnal Biologi*, 4 (3), 31-40.
- Wilujeng, A. A. T, dan Wikandari, P. R. (2013). Pengaruh Lama Fermentasi Kopi Arabika (*coffea arabica*) dengan Bakteri Asam Laktat *Lactobacillus Plantarium* B1765 Terhadap Mutu Produk. *UNISA Journal of Chemistry*, 2 (3), 1-10.
- Yeretzian, C., Pascual, E.C., dan Goodman, B.A. (2012). Effect of roasting condition and grinding on free radical contents of coffee beans stored in air. *Food Chemistry*, 131, 811-816.

PEDOMAN PENULISAN

A. Pedoman Umum

1. Naskah merupakan hasil penelitian otentik yang belum dipublikasikan di media publikasi atau penerbitan lainnya.
2. Naskah tidak mengandung unsur plagiarisme. Dewan redaksi akan langsung menolak teks yang terindikasi plagiarisme.
3. Naskah yang telah ditulis berdasarkan pedoman Sains Natural (dalam format MS Word, sesuai template), harus dikirim melalui Sistem Submission Online dengan menggunakan Open Journal System (OJS) di portal e-jurnal Sains Natural (<http://ejournalunb.ac.id/index.php/JSN>). Kemudian, daftarkan diri sebagai salah satu penulis atau reviewer.
4. Naskah yang tidak sesuai dengan pedoman penulisan Sains Natural akan dikembalikan kepada penulis sebelum proses *review*.
5. Naskah bisa ditulis baik dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dengan bahasa standar. Naskah harus terdiri dari sepuluh (10) sampai tiga belas (13) halaman termasuk gambar dan tabel. Naskah ditulis di atas kertas ukuran A4 (210x297 mm), dengan margin 3 cm (kiri, kanan, bawah dan atas).
6. Teks naskah harus menggunakan huruf Times New Roman, ukuran huruf 11pt, 1 spasi baris, dalam satu kolom.
7. Kata-kata yang tidak umum atau dari bahasa asing dituliskan dengan format *Italic*. Untuk naskah dalam Bahasa Indonesia, sebaiknya hindari istilah asing. Setiap paragraf dimulai 10 mm dari sisi kiri perbatasan sementara tidak ada spasi di antara paragraf.
8. Tabel dan gambar ditempatkan di grup teks setelah teks. Setiap gambar harus diberi judul (Gambar) di bawah gambar dan diberi nomor dalam format penomoran Arab yang diikuti oleh judul gambar. Setiap tabel harus diberi judul tabel dan diberi nomor dalam format penomoran arab di atas tabel diikuti dengan judul tabel. Gambar lampiran jelas (ukuran font, resolusi dan ruang garis terlihat jelas). Gambar, tabel, dan bagan harus ditempatkan di tengah antara kelompok teks. Jika memiliki ukuran lebih besar, bisa diletakkan di tengah halaman. Tabel tidak boleh berisi garis vertikal, sedangkan garis horisontal hanya diijinkan untuk hal penting.

B. Teks Naskah

1. Judul

Judul harus ringkas dan informatif. Judul naskah harus ditulis dengan maksimal 12 (dua belas) kata (dalam Bahasa Indonesia) dan 10 (sepuluh) kata dalam bahasa Inggris, font berukuran 12pt, UPPERCASE, BOLD, dan dalam format teks rata tengah.

2. Nama penulis dan afiliasinya

Nama dari masing-masing penulis dicantumkan dengan jelas dan harus menunjukkan penulis yang berperan sebagai koresponden. Alamat afiliasi penulis (tempat kerja sebenarnya dilakukan) dicantumkan di bawah nama. Tanggung jawab koresponden ini mencakup menjawab pertanyaan tentang Metodologi dan Bahan. Penulis juga mencantumkan alamat e-mail dan rincian kontak.

3. Abstrak

Abstrak ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris. Teks ditulis dalam format Times New Roman, ukuran huruf 9pt, 1 spasi baris, sebanyak 75-250 kata dan diikuti oleh lima kata kunci. Abstrak harus menyatakan secara singkat tujuan penelitian, hasil utama, dan kesimpulan utama.

4. Pendahuluan

Pada pendahuluan, sebutkan tujuan dan latar belakang yang memadai. Hindari survei literatur terperinci atau ringkasan hasilnya.

5. Bahan dan Metode

Metode ini diimplementasikan untuk memecahkan masalah, termasuk metode analisis. Metode yang digunakan dalam pemecahan masalah penelitian dijelaskan pada bagian ini.

6. Hasil dan Pembahasan

Hasil harus jelas dan ringkas. Pembahasan harus mengeksplorasi signifikansi hasil kerja, bukan mengulanginya. Hindari kutipan yang luas dan diskusi literatur yang dipublikasikan.

7. Kesimpulan

Kesimpulan utama penelitian ini dapat disajikan dalam bagian Kesimpulan singkat.

8. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih dicantumkan pada bagian terpisah di bagian akhir artikel sebelum referensi. Pada ucapan terima kasih dicantumkan nama/organisasi/institusi yang memberikan bantuan selama penelitian (misal, Memberikan bantuan bahasa, menulis bantuan atau bukti membaca artikel, dll.).

9. Referensi dan kutipan

Semua referensi yang digunakan harus diambil dari sumber utama (jurnal ilmiah dan yang paling sedikit adalah 80% dari semua referensi) yang diterbitkan dalam sepuluh tahun terakhir. Setiap naskah harus memiliki setidaknya sepuluh referensi. Referensi harus menggunakan "Mendeley" sebuah aplikasi manajemen referensi. Format penulisan yang digunakan dalam Sains Natural mengikuti format yang diterapkan oleh APA 6th Edition (American Psychological Association).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan diberikan kepada para pakar/mitra bestari/rekan setara yang telah diundang sebagai penelaah oleh *Jurnal Sains Natural* dalam Volume 10 No. 2, Tahun 2020. Berikut ini adalah daftar nama pakar/mitra bestari/rekan setara yang berpartisipasi :

1. Prof. Dr. Adi Santoso (Kimia Analisis, Puslitbang Kehutanan)
2. Dr. Foliatini, M.Si (Physical Chemistry, Politeknik AKA Bogor)
3. Dr. Agung Abadi Kiswando, M.Sc (Kimia Analitik dan lingkungan, Universitas Lampung)
4. Drs. Agus Taufik, M.Si (Inorganic Chemistry, Politeknik AKA Bogor)
5. Indra Lasmana Tarigan, S.Pd., M.Sc (Biochemistry and Mol. Biology Lab., University of Jambi)