

(Ca/P). Hal ini disebabkan karena rendahnya jumlah kalsium yang dihasilkan pada proses ekstraksi menggunakan pelarut HCl. Mahmoud *et al.* (2007) menjelaskan bahwa perendaman dengan HCl yang cukup lama dapat menyebabkan terbukanya matriks tulang sehingga memudahkan pelepasan kalsium dan mineral lainnya.

Nilai rata-rata kadar protein tertinggi tepung tulang lele yaitu $31,13 \pm 12,35\%$ diperoleh pada perlakuan ekstraksi dengan pelarut HCl, sedangkan kadar protein terendah dihasilkan pada tepung tulang hasil ekstraksi menggunakan NaOH, yaitu $12,35 \pm 0,03\%$. Protein akan terhidrolisis apabila dicampurkan dengan alkali kuat atau enzim proteolitik melalui proses pemecahan protein secara bertahap menjadi molekul-molekul peptida yang sederhana dan asam-asam amino. Ekstraksi menggunakan larutan menyebabkan penarikan senyawa protein, pigmen dan lemak selama pengolahan sehingga memungkinkan memberikan warna yang lebih cerah dan mencegah oksidasi lemak pada tepung tulang yang dihasilkan. Meskipun demikian, Hemung *et al.* (2013) menjelaskan bahwa perlakuan ekstraksi tidak dapat sepenuhnya menghilangkan protein. Hal ini disebabkan masih adanya protein stroma yang tidak larut pada asam maupun basa.

Kadar air pada tepung tulang lele tergolong rendah, yaitu berkisar antara 6,15-6,40%. Nilai kadar air sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh SNI 2715:2013 untuk kadar air tepung tulang yaitu maksimal 10%. Pada kondisi tersebut molekul air yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air lainnya akan berkurang. Proses pengeringan dengan oven suhu 60 °C selama 24 jam dapat menurunkan kadar air pada tulang. Kadar air sangat berpengaruh terhadap stabilitas tepung tulang selama penyimpanan. Kadar air yang tinggi merupakan faktor pertumbuhan mikrobia penyebab kerusakan bahan pangan serta memicu terjadinya agregasi atau penggumpalan pada tepung.

Tepung tulang hasil ekstraksi dengan pelarut NaOH maupun HCl memiliki nilai derajat putih >80%, menunjukkan bahwa warna dan kecerahan tepung tulang hasil ekstraksi hampir menyerupai derajat putih tepung terigu yang berkisar antara 80-90%. Faktor yang mempengaruhi derajat putih adalah komponen organik dalam bahan seperti lemak dan protein. Tepung tulang hasil ekstraksi dengan pelarut NaOH memiliki derajat putih yang paling tinggi, yaitu 88,78%. Sebaliknya jumlah protein yang tersisa pada tepung tulang hasil ekstraksi dengan pelarut NaOH terbukti paling rendah yaitu 12,35%. Hal ini mengindikasikan bahwa NaOH dapat melarutkan lebih banyak senyawa protein, pigmen dan lemak

yang memberikan pengaruh warna tepung yang lebih putih. Pada tepung tulang tanpa ekstraksi nilai kadar air sebesar 77,67%. Hal ini menunjukkan bahwa masih adanya kandungan pigmen dan lemak pada tepung tulang.

Hasil uji rendemen menunjukkan adanya peningkatan rendemen tepung tulang dengan jumlah tertinggi yaitu 64,89% didapatkan pada perlakuan ekstraksi kalsium melalui ekstraksi dengan pelarut 5% NaOH dengan lama waktu ekstraksi selama 30 menit. Ekstraksi kalsium dengan pelarut 11,64% HCl selama 58 menit menghasilkan rendemen tepung tulang paling sedikit yaitu sebesar 19,25%. Konsentrasi HCl yang tergolong tinggi, yaitu 11% dengan lama waktu perendaman 60 menit menyebabkan semakin banyaknya matriks tulang yang terbuka, sehingga banyak komponen mineral ikut terlarut dalam pelarut HCl.

Kesimpulan

Desain faktorial menggunakan *Response Surface Method* (RSM) dapat menentukan kondisi optimal pada proses ekstraksi kalsium. Model statistik yang dikembangkan telah dikonfirmasi dengan uji verifikasi yang memberikan hasil akurasi sebesar lebih dari 87,5%. Penggunaan pelarut 5% NaOH selama 30 menit memberikan kualitas fisik dan kimia yang lebih baik dibandingkan dengan pelarut HCl ataupun pembuatan tepung tulang lele tanpa ekstraksi. Ekstraksi kalsium dengan pelarut NaOH menghasilkan jumlah kalsium sebesar 17,46%, fosfor 5,40%, protein 12,35%, dan kadar air 6,15%. Proses tersebut juga menghasilkan kualitas fisik terbaik, yaitu rendemen tepung tulang sebesar 64,89% dan derajat putih sebesar 88,78%. Optimasi proses pembuatan tepung tulang lele memungkinkan potensi pengolahan tepung tulang lele skala besar dengan metode yang efektif berdasarkan waktu, jumlah pelarut dan tenaga yang dibutuhkan. Hal ini akan berdampak pada efisiensi biaya pengolahan limbah tulang lele.

Daftar Pustaka

- Agustini, T.W., S.E. Ratnawati, B.A. Wibowo & J. Hutabarat. 2011. Pemanfaatan cangkang kerang simping (*Amusium pleuronectes*) sebagai sumber kalsium pada produk ekstrudat. *J. Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* 14 (2): 134-142
- Apriyana, I. 2014. Pengaruh penambahan tepung kepala ikan lele (*Clarias* sp.) dalam pembuatan cilok terhadap kadar protein dan sifat organoleptiknya. *Unnes J. of Public Health* 3 (2): 1-9

- Association of Official Agriculture Chemist (AOAC). 1995. Official Methods of Analysis on the Association of Official Agriculture Chemist. Washington. DC.
- Chow, L.C. 2001. Solubility of Calcium Phosphates. Ed: Octacalcium Phosphate. Monogr Oral Sci. Basel. Karger 18: 94-111.
- Ferazuma, Her., M.S. Anna., Amalia & Leily. 2011. Substitusi tepung kepala ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*) untuk meningkatkan kandungan kalsium crackers. J. Gizi dan Pangan 6 (1): 18–27
- Figueiredo, M., S. Cunha, G. Martins, J. Freitas, F. Judas, H. Figueiredo. 2011. Influence of hydrochloric acid concentration on the demineralization of cortical bone. Chemical Engineering Research and Design 89 (1): 116-124.
- Hemung, Bung-Orn. 2013. Properties of tilapia bone powder and its calcium bioavailability based on transglutaminase assay. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics 3 (4) : 306-309.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). 2012. Statistik Perikanan Tangkap, Perikanan Budidaya dan Ekspor - Impor Setiap Provinsi seluruh Indonesia, 2003-2010. Pusat Data Statistik dan Informasi, Kementerian Kelautan dan Perikanan.178 hlm.
- Klomkloa, S., S. Benjakul & H. Kishimura. 2013. Functional properties and antioxidative activity of protein hydrolysates from toothed ponyfish muscle treated with viscera extract from hybrid catfish. International J. of Food Science and Technology 48 (7): 1483-1489
- Kustiani, A., C.M. Kusharto & E. Damayanthi. 2017. Pengembangan crackers sumber protein dan mineral dengan penambahan tepung daun kelor (*Moringa oleifera*) dan tepung badan-kepala ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*). Nutri-sains 1 (1): 22-38
- Lekahena, V., D.N. Faridah., R. Syarief & R. Peranginangin. 2014. Karakterisasi fisikokimia nanokalsium hasil ekstraksi tulang ikan nila menggunakan larutan basa dan asam. J. Teknologi Pangan 25 (1): 57-64
- Li, Yun-Fang., Wu-Yu., E.N. Hernandez & P.J. Roberto. 2013. Heat and drought stress on durum wheat: responses of genotypes, yield and quality parameters. J. of Cereal Science 57: 398 – 404
- Mahmoud, N.S., A.E. Ghaly & F. Arab. 2007. Unconventional approach for demineralization of deproteinized crustacean shells for chitin production. American J. of Biochemistry and Biotechnology 3 (1): 1-9
- Montgomery, D.C. 2001. Design and analysis of experiments. New York (US): John Wiley & Sons, Inc.
- Pusat Data Statistik dan Informasi. 2015. Kelautan dan Perikanan dalam Angka tahun 2015. 308 p.
- Ratnawati, S.E., T.W. Agustini & J. Hutabarat. 2014. Penilaian hedonik dan perilaku konsumen terhadap snack yang difortifikasi tepung cangkang kerang simping (*Amusium* sp.). Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada 15 (2): 88-103.
- Sanaei, A.V., F. Mahmoodani., S.F. See., S.M. Yusop & A.S. Babji. 2013. Optimization of gelatin extraction and physico-chemical properties of catfish (*Clarias gariepinus*) bone gelatin. International Food Research Journal 20 (1): 424-430.
- Sari, F.K., D. Ishartani, N.H. Parnanto, C. Anam. 2013. Pengaruh penambahan tulang ikan lele (*Clarias* sp.) dan kacang tunggak (*Vigna unguiculata*) terhadap kandungan kalsium dan protein pada susu jagung manis (*Zea mays saccharata*). Jurnal Teknosains Pangan 2 (1): 66-72.
- SNI 01-2354.2-2006. Cara uji kimia bagian 2: penentuan kadar air pada produk perikanan. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Suptijah, P., A. Jacob & N. Deviyanti. 2012. Karakteristik dan bioavailabilitas nanokalsium cangkang udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*). J. akuatika 3 (1): 63-73.
- Trilaksana, W, S. Ella & N. Muhammad. 2006. Pemanfaatan limbah tulang ikan tuna (*Thunnus* sp.) sebagai sumber kalsium dengan metode hidrolisis protein. Buletin Teknologi Hasil Perikanan 9 (2) : 34-45.
- Triyanti, Riesti dan N. Shafitri. 2012. Kajian Pemasaran Ikan Lele (*Clarias* sp.) dalam Mendukung Industri Perikanan Budidaya (Studi Kasus di Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah). Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan 7 (2): 177-191.
- Yadav, B.K & V.K. Jindal. 2007. Changes in head rice yield and whiteness during milling of rough rice (*Oriza sativa* L.). J. of Food Engineering 86: 113 - 121