

EKSPLORASI RASIO KONSENTRASI CAMPURAN ASAM BORAT DAN ASAM FOSFAT UNTUK MENINGKATKAN SIFAT KETAHANAN API TERHADAP MATERIAL BERBASIS ORGANIK

I. Ariantono¹, M.A. Elita Hafizah^{1,*}, L.A. Affandi¹, D. W. Ananda², A. Manaf², M. Manawan¹,
Andreas³

¹Prodi Teknologi Persenjataan, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Kampus Pascasarjana Universitas Pertahanan, Jl. Salemba Raya No.14, Jakarta 10430, Indonesia

²Postgraduate Program of Material Science, Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Indonesia, Jl Salemba Raya No.4, Jakarta 10430, Indonesia

³Indonesian Institute of Science, LIPI, Komplek PUSPITEK, Serpong, Banten 15314, Indonesia

*Masayu.elita@gmail.com

ABSTRAK: Pada penelitian ini dilakukan investigasi efek dari variasi konsentrasi campuran senyawa asam borat dan asam fosfat sebagai *flame retardant* pada material organik kertas. Berdasarkan nilai batas kelarutan, asam borat (H_3BO_3) sebanyak 6,23 gram dilarutkan dalam 100 mL air deionisasi pada suhu 30°C disiapkan sebagai fasa awal. Larutan asam borat tersebut dilakukan pencampuran dengan asam fosfat (H_3PO_4) dengan rasio konsentrasi 99:1, 97:3, dan 95:5. Hasil campuran diidentifikasi dengan mengukur pH dan sifat ketahanan api. Sifat ketahanan api dipelajari melalui konsep pengujian pembakaran vertikal melalui parameter uji UL-94 dengan spesimen kertas. Arang hasil pembakaran dilakukan identifikasi dengan pengujian FTIR untuk mempelajari senyawa yang terbentuk pada arang dan SEM untuk mengidentifikasi morfologi dari arang yang terbentuk. Sifat pembakaran diperoleh pada sampel dengan konsentrasi 95wt% asam borat dan 5wt% asam fosfat merupakan sampel yang paling optimal sebagai *flame retardant* dan tidak bersifat korosif pada kertas.

Kata kunci: Flame retardant; asam borat; asam fosfat, fire retardancy; spesimen kertas.

ABSTRACT: The effect of ratio of boric acid (H_3BO_3) to phosphoric acid (H_3PO_4) in their mixtures on flame retardancy for organic based materials was investigated in this study. Boric acid of 6.23 gram was dissolved in 100 mL of deionized water at 30°C. Further, the boric acid was mixed with phosphoric acid to obtain the concentration ratio of 99: 1; 97: 3; and 95:5. The pH and fire retardancy of the mixtures were measured. The fire retardancy was investigated by testing the vertical combustion using UL-94 parameter with paper specimen. The obtained charcoal was analyzed by FTIR to get information of resulted compounds and SEM to identify the morphology of the charcoal. The optimal flame retardancy was obtained by using 95:5 as flame retardant without having corrosive on the paper specimen.

Keywords: Flame retardant; boric acid; phosphoric acid; fire retardancy; paper specimen.

1. PENDAHULUAN

Selulosa merupakan struktur dasar sel-sel tanaman maupun hewan. Material yang tersusun dari selulosa umumnya bersifat tidak tahan api sehingga mudah terbakar jika terkena sumber api [1]. Oleh karenanya, diperlukan perlakuan khusus dengan zat kimia penghambat api untuk meningkatkan sifat ketahanan pembakaran material tersebut. Salah

satu metode yang digunakan yaitu dengan penambahan zat penghambat api dikenal sebagai *Flame Retardant* atau *Fire Retardant* yang merupakan suatu zat kimia tunggal atau campuran yang dapat menahan laju pembakaran api pada sebuah substrat. Mekanisme penghambatan api terjadi karena meningkatnya densitas suatu bahan yang ditambahkan zat penghambat api, sehingga

permukaan yang akan bereaksi dengan oksigen semakin berkurang [2].

Halogenated based Flame Retardant adalah senyawa kimia yang dikembangkan pertama kali sebagai zat penghambat api. Namun karena sifatnya yang beracun terhadap lingkungan dan kesehatan, penggunaan *halogen flame retardant* semakin dibatasi [3]. Sebagai pengganti dari *halogenated based flame retardant*, dikembangkan zat penghambat api bebas halogen yang dikenal dengan *halogen free flame retardant*. Senyawa berbasis boron dan fosfor merupakan dua senyawa yang termasuk dalam golongan *halogen free flame retardant* yang dikembangkan sebagai *flame retardant* [4].

Senyawa berbasis boron memiliki beberapa kelebihan yaitu, bersifat kurang beracun, mudah diaplikasikan pada substrat, ekonomis, dan ramah lingkungan [5]. Senyawa berbasis fosfor juga dikembangkan sebagai unsur utama bahan *flame retardant*. Zat penghambat api berbasis fosfor banyak digunakan karena ramah lingkungan berupa gas tidak bersifat toxic, tidak ada pelepasan halogen dan asam dioksin, dan menghasilkan lebih sedikit asap ketika terbakar. Mekanisme penghambatan api dari golongan senyawaan fosfor akan menghasilkan lapisan *char* untuk melindungi substrat agar terhambat laju pembakarannya [6].

Pada penelitian ini, akan dilakukan kombinasi kedua bahan berbasis boron dan fosfor. Bahan kimia utama yang digunakan ialah asam borat dan asam fosfat. Kedua bahan tersebut dicampurkan dengan rasio konsentrasi tertentu dan diaplikasikan pada substrat kertas. Selanjutnya, sifat ketahanan pembakaran pada kertas diamati dengan pengujian tertentu sehingga dapat diketahui rasio konsentrasi campuran asam borat dan asam fosfat yang paling baik untuk meningkatkan sifat ketahanan api dari kertas.

2. PERCOBAAN

Bahan kimia utama yang digunakan ialah asam borat (H_3BO_3) dalam bentuk powder dan asam fosfat (H_3PO_4) dalam bentuk cairan. Kedua bahan tersebut dicampurkan dengan komposisi seperti

pada Tabel 1, dengan waktu pengadukan 30 menit pada suhu $30^\circ C$.

Tabel 1. Komposisi sampel

Sampel	Komposisi (%)
A	6,23 gr Asam Borat/100ml
B	99 mL A : 1 mL Asam Fosfat
C	97 mL A : 3 mL Asam Fosfat
D	95 mL A : 5 mL Asam Fosfat

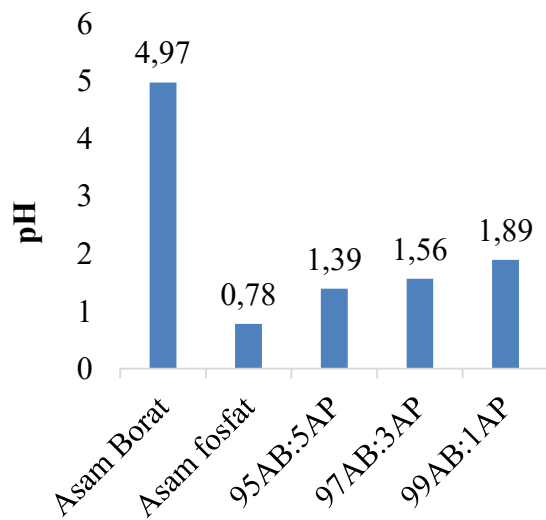
Masing-masing sampel yang telah dibuat, dilakukan pengukuran pH untuk mengetahui derajat keasaman dari masing-masing sampel. Selanjutnya, melakukan perlakuan pada material kertas hvs berukuran 2×15 cm terhadap sampel sebagai substrat, melalui proses perendaman pada masing-masing sampel selama 5 menit dan melakukan pengeringan kertas dengan oven pada suhu $90^\circ C$ selama 30 menit.

Kertas yang telah kering dilakukan pengujian pembakaran vertikal, dan residu pembakarannya diidentifikasi menggunakan pengujian SEM untuk mengidentifikasi morfologi dari permukaan arang dan juga melakukan karakterisasi FTIR untuk melihat gugus fungsi dari arang yang terbentuk.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengukuran pH pada Sampel

Gambar 1 adalah hasil pengukuran pH masing-masing sampel. Diperoleh nilai pH terbesar adalah asam borat dengan nilai pH 4,97 [7]. Sedangkan pH terkecil atau asam terkuat dalam sampel ini adalah asam fosfat dengan nilai pH 0,78 [8]. Pada penelitian ini, derajat keasaman pada larutan berpengaruh terhadap kondisi kertas yang ditreatment. Asam fosfat dengan pH yang kecil dapat bersifat lebih korosif terhadap kertas [9].



Gambar 1. Hasil pengukuran pH sampel.

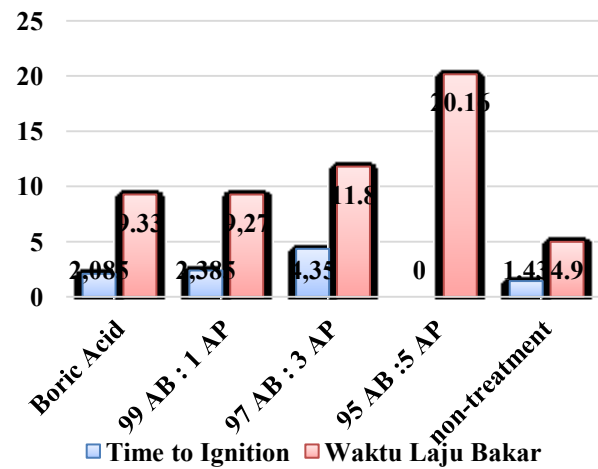
3.2 Pengujian Vertikal UL-94

Pengujian pembakaran vertikal dinyatakan pada Gambar 2. Parameter hasil pengujian ini ada dua, yaitu waktu inisiasi dan waktu laju pembakaran [10]. Waktu inisiasi menunjukkan berapa lama sumber api yang diberikan pada spesimen dapat terbakar, sedangkan waktu laju pembakaran adalah waktu yang dibutuhkan untuk membakar habis spesimen. Hasil pengujian ini menunjukkan penambahan asam fosfat meningkatkan waktu inisiasi. Bahkan, untuk konsentrasi 5% asam fosfat, spesimen kertas tidak menunjukkan adanya nyala. Hal ini menunjukkan bahwa kertas lebih sukar terbakar. Begitu juga dengan waktu laju pembakaran yang semakin meningkat dengan penambahan asam fosfat sebanyak 5%.

3.3 Hasil Karakterisasi SEM pada Arang

Residu hasil pembakaran kemudian dilakukan identifikasi dengan pengujian SEM yang hasilnya disajikan pada Gambar 3 yang memperlihatkan bahwa sampel asam borat dapat mengisi pori-pori dari serat sehingga menghasilkan arang yang lebih padat dan keras, sedangkan penambahan asam fosfat yang banyak dapat berperan melapisi permukaan serat selulosa, sehingga terlihat serat tersebut

tertutup. Mekanisme kerja asam fosfat yang dapat mempercepat reaksi karbonisasi pada arang.

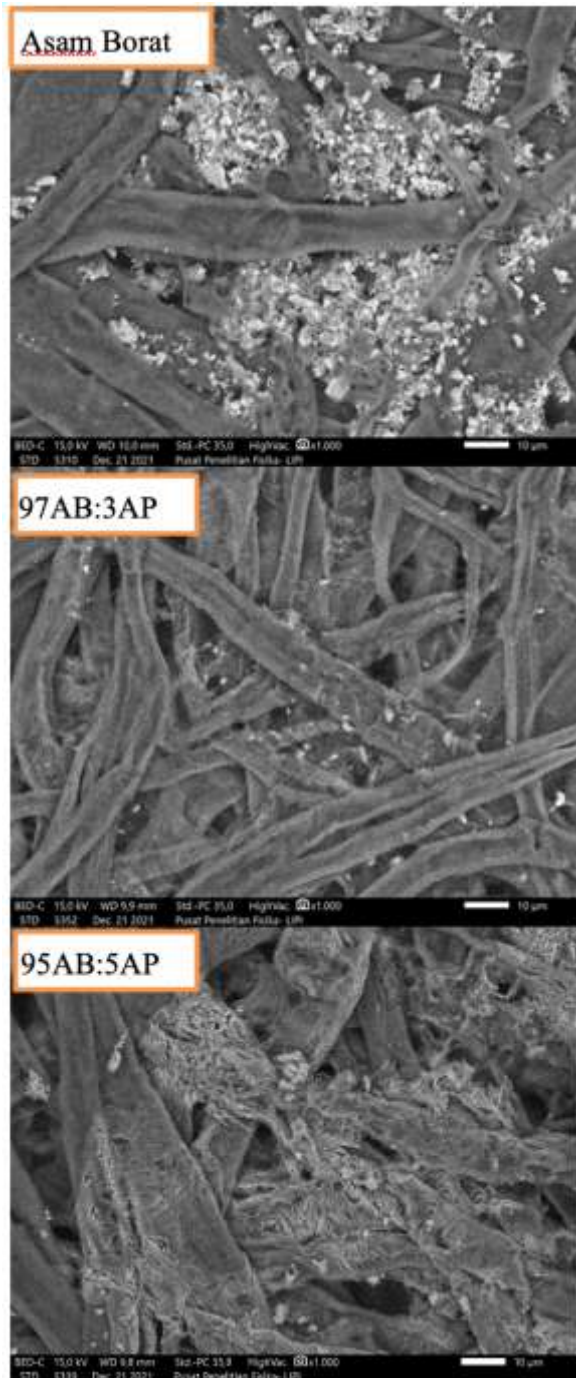


Gambar 2. Waktu inisiasi dan waktu pembakaran dalam satuan detik.

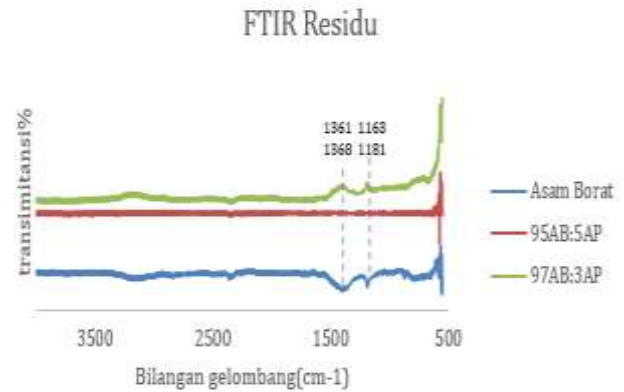
3.4 Karakterisasi Arang Dengan FTIR

Gambar 4 merupakan plot hasil pengujian FTIR arang kertas yang ditreatment asam borat, 95AB:5AP, dan 97AB:3AP. Pada arang asam borat dan 97AB:5AP terdapat absorpsi pada bilangan gelombang 1361 cm^{-1} dan 1368 cm^{-1} yang menunjukkan gugus O-H. Gugus O-H menunjukkan saat pembakaran terjadi reaksi dehidrasi yang merupakan mekanisme kerja asam borat dan asam fosfat yang terdekomposisi menghasilkan molekul H_2O untuk berperan dalam penghambatan laju api [11]. Pada arang sampel 97AB:3AP terdapat absorpsi pada bilangan gelombang 1163 cm^{-1} yang menunjukkan gugus P-O-C sebagai sidik jari khusus senyawa fosfor, lalu pada arang sampel asam borat terdapat absorpsi pada bilangan gelombang 1181 cm^{-1} yang menunjukkan gugus C-O. Gugus-gugus ini menunjukkan senyawa yang mudah menguap yang terbentuk dan tidak bersifat reaktif terhadap pembakaran [12]. Bilangan gelombang 632 cm^{-1} merupakan gugus fungsi B-O-B bending [13]. Selain itu, pada sampel 95AB:5AP dan 97AB:3AP terdapat

absorpsi yang menumpuk pada bilangan gelombang 555-645 cm^{-1} yang menunjukkan ikatan P=O [11].



Gambar 3. Hasil pengujian SEM pada arang asam borat, 97AB:3AP, dan 95AB:5AP.



Gambar 4. Hasil Pengujian FTIR pada arang asam borat, 95AB:5AP, dan 97AB:5AP

4. KESIMPULAN

Kertas sebagai substrat yang dilakukan perlakuan bahan kimia dengan perbandingan asam borat dan asam fosfat 95:5 wt% menunjukkan sifat ketahanan api yang paling baik hingga mencapai 20,15 menit. Hal ini dapat dilihat dengan tidak adanya nyala awal saat diberikan sumber api, dan juga waktu laju pembakaran terlama dibandingkan sampel lain. Hasil arang yang terbentuk juga menunjukkan adanya mekanisme kerja asam fosfat yaitu mempercepat pengarangan pada spesimen. Hasil uji SEM memperlihatkan bahwa pada sampel dengan perbandingan asam borat dan asam fosfat 95:5 wt% terdapat lapisan karbon yang menutupi serat dari selulosa kertas, serta gugus – gugus yang terbentuk pada arang dapat menunjukkan *fingerprint* dari senyawa boron dan fosfor, serta molekul yang bersifat menekan laju pembakaran.

Hasil yang didapat pada penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan dengan melakukan penambahan–penambahan parameter pengujian sifat ketahanan pembakaran suatu material yang lain.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fengel D & Wegener, 1989. *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reaction.* university of Munich Berlin
- [2] Suprpto, 1996. *Pemakaian Bahan*

- Penghambat Api (Fire Retardant) Sebagai Proteksi Pasif Terhadap Bahaya Kebakaran*. LIPI Indonesia,
- [3] D. M. Hodgson and E. Gras, 2002. Recent developments in the chemistry of lithiated epoxides. *Synthesis (Stuttg.)*, 27(12): 1625–1642
doi:10.1055/s-2002-33635.
- [4] P. Intharapat, C. Nakason, and A. Kongnoo, 2016. Preparation of boric acid supported natural rubber as a reactive flame retardant and its properties. *Polym. Degrad. Stab.*, 128: 217–227, doi:10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.004.
- [5] E. Baysal and M. K. Yalinkilic, 2005. A comparative study on stability and decay resistance of some environmentally friendly fire-retardant boron compounds. *Wood Sci. Technol.*, 39 (3): 169–186. doi:10.1007/s00226-004-0264-2.
- [6] F. Hajiali, S. Tajbakhsh, and M. Marić, 2020. Thermal characteristics and flame retardance behavior of phosphoric acid-containing poly(methacrylates) synthesized by RAFT polymerization. *Mater. Today Commun.*, 25: 101618
<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101618>.
- [7] S. D. Sheet, 2021. Boric Acid Boric Acid Safety Data Sheet, 77(58): 1–7,
- [8] K. Sinyal, 2017. Lembar data keselamatan bahan, 1907: 1–11,
- [9] A. Iversen and B. Leffler, 2010. Aqueous Corrosion of Stainless Steels,” B. Cottis, M. Graham, R. Lindsay, S. Lyon, T. Richardson, D. Scantlebury, and H. B. T.-S. C. Stott, Eds. Oxford: Elsevier, 1802–1878.
- [10] S. NAZARÉ and A. R. HORROCKS, 2008, Flammability testing of fabrics in *Woodhead Publishing Series in Textiles*, J. B. T.-F. T. Hu, Ed. Woodhead Publishing, 339–388.
- [11] X. Wu, T. Gou, Q. Zhao, L. Chen, and P. Wang, 2021. High-efficiency durable flame retardant with ammonium phosphate ester and phosphine oxide groups for cotton cellulose biomacromolecule,” *Int. J. Biol. Macromol.*, 194: 945 – 953
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.149>.
- [12] Wang, S., Sun, L., Li, Y., Wang, H., Liu, J., Zhu, P., Dong., C. 2021. Properties of flame-retardant cotton fabrics: Combustion behavior, thermal stability and mechanism of Si/P/N synergistic effect. *Ind. Crops Prod.*, 173: 11415
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114157>.
- [13] Ai, L., Chen, S., Zeng, J., Liu, P., Liu, W., Pan, Y., Liu, D., 2018. Synthesis and flame retardant properties of cyclophosphazene derivatives containing boron. *Polym. Degrad. Stab.*, 155: 250–261.
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2018.07.026>.