

KUALITAS PAPAN SEMEN PARTIKEL DARI BATANG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) DENGAN PERLAKUAN PENDAHULUAN PEREBUSAN

Agus Nur Fahmi* dan Muhammad Zainuri

Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman

*E-mail: agusnf@gmail.com

ABSTRACT

The objectives of this research were to study the quality of particle cement board produced from particles of oil palm trunk (*Elaeis guineensis* Jacq.) by using the boiling pretreatment 3 hours and 4 hours. This research uses raw material of oil palm trunk particles with cement and particle ratio of 3 : 1. The used adhesive material was Portland cement with Brand of Tonasa and the used catalyst was CaCl_2 as much as 3% by weight of cement. Quality tests for physical and mechanical properties are carried out in accordance with international standards (ISO 8335, 1987) including moisture content, density, thickness swelling, modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR), (BS 5669, 1989) internal bonding strength (MS 934, 1986) water absorption. Test results of physical and mechanical particle cement board in accordance with ISO 8335 (1987) standard on water content testing, density and thickness swelling, MS standard (1986) on water absorption test. By testing of MOE and fracture MOR at all treatments, the values obtained did not conform to the ISO 8335 (1987) standard and IBS of all treatments not in accordance with BS 5669 (1989).

Keywords: Particle cement board; palm oil trunk particle; particle boiling pretreatment

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas papan semen yang dihasilkan dari bahan pengisi partikel batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan menggunakan perlakuan pendahuluan perebusan 3 jam dan 4 jam. Penelitian ini menggunakan bahan baku partikel batang kelapa sawit dengan rasio semen dan partikel sebesar 3 : 1. Bahan perekat yang digunakan adalah semen Portland dengan merek dagang Tonasa dan katalisator yang digunakan adalah CaCl_2 sebanyak 3% dari berat semen. Pengujian kualitas berupa sifat fisika dan mekanika dilakukan berdasarkan standar Internasional (ISO 8335, 1987) meliputi kadar air, kerapatan, pengembangan tebal, keteguhan lentur (MOE) dan keteguhan patah (MOR), (BS 5669, 1989) keteguhan tarik tegak lurus permukaan dan standar (MS 934, 1986) penyerapan air. Hasil pengujian sifat fisika dan mekanika papan semen partikel sesuai dengan standar ISO 8335 (1987) pada pengujian kadar air, kerapatan dan pengembangan tebal, standar MS (1986) pada pengujian penyerapan air. Pada pengujian MOE dan MOR pada semua perlakuan menghasilkan nilai yang tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan ISO 8335 (1987) dan pada pengujian keteguhan tarik tegak lurus permukaan (IBS) semua perlakuan tidak memenuhi standar yang ditetapkan BS 5669 (1989).

Kata kunci: Papan semen partikel; partikel batang kelapa sawit; perlakuan perebusan partikel

PENDAHULUAN

Luas hutan Indonesia makin berkurang akibat penebangan liar dan alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian dan perkebunan. Penanaman kelapa sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) dengan tujuan untuk diambil buahnya sebagai bahan baku minyak sawit semakin meningkat setiap tahunnya, hingga tahun 2016 mencapai luas areal 11.914.499 Ha (Anonim, 2016). Masa produktif kelapa sawit maksimal 25 tahun, setelah tidak produktif petani kelapa sawit biasanya menyuntikkan zat kimia/racun untuk membuat batang kelapa sawit cepat mati dan membusuk, serta akan menghasilkan limbah batang kelapa sawit yang sangat banyak dan belum termanfaatkan. Hal ini perlu terobosan untuk memanfaatkan limbah batang kelapa sawit untuk dijadikan produk yang bermanfaat dan berguna

dalam memenuhi kebutuhan manusia terkait kebutuhan terhadap kayu yaitu dengan pembuatan papan semen partikel.

Batang kelapa sawit dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan papan semen partikel. Batang kelapa sawit mengandung selulosa, hemiselulosa, lignin, zat ekstraktif dan lain-lain yang menyebabkan batang kelapa sawit tidak tahan terhadap serangan jamur dan serangga. Pemanfaatan batang kelapa sawit untuk bahan baku pembuatan papan semen partikel perlu proses pendahuluan dengan cara perebusan partikel untuk mengurangi zat-zat ekstraktif yang terkandung didalamnya sehingga dapat meningkatkan kualitas papan semen partikel. Haygreen dan Bowyer (2003) Industri papan semen partikel tidak terlalu memerlukan persyaratan bahan baku yang tinggi. Kelebihan industri papan semen partikel dibandingkan

dengan industri lain adalah dapat memanfaatkan limbah kayu atau bahan berlignoselulosa lainnya dari industri pengolahan kayu, limbah penebangan atau limbah perkebunan yang sangat banyak ditemui di industri-industri, dapat meningkatkan nilai tambah dari kayu, dapat meningkatkan kekuatan dan pemanfaatan dari kayu dengan kerapatan yang rendah.

Bahan perekat yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland merk Tonasa. Sastradimadja (1988) mengungkapkan bahwa semen portland sangat dianjurkan di Indonesia, karena bahan baku tersebut relatif murah dan mudah untuk didapatkan serta memberikan perekatan yang cukup baik. Penelitian ini menggunakan katalisator berupa CaCl_2 3% dari berat semen. Perbandingan semen dan partikel 3 : 1 dari partikel batang kelapa sawit. Perlakuan pendahuluan perebusan partikel batang kelapa sawit menggunakan waktu yang berbeda yaitu selama 3 jam dan 4 jam, untuk mengurangi zat ekstraktif yang terdapat pada partikel batang kelapa sawit.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah perkebunan berupa batang kelapa sawit yang sudah tidak produktif lagi, serta untuk mengetahui pengaruh perlakuan pendahuluan perebusan 3 jam dan perebusan 4 jam terhadap kualitas papan berupa sifat fisika dan mekanika papan semen partikel batang kelapa sawit.

METODE

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah partikel batang kelapa sawit umur 25 tahun yang diperoleh dari perkebunan kelapa sawit di daerah Kabupaten Penajam Paser Utara Kalimantan Timur. Batang kelapa sawit dipotong menjadi beberapa lempengan bulat kemudian dihilangkan kulit dan bagian tengahnya sekitar 25% dari lingkaran batang sawit. Setelah bagian tengah dan kulit batang sawit dihilangkan, kemudian keringkan pada tempat terbuka. Batang sawit yang sudah dicacah kering maka dilanjutkan proses penumbukan menggunakan mesin Hammer mill hingga berbentuk splinter. Waktu perebusan dibedakan yaitu 3 jam dan 4 jam kemudian partikel diangkat dan ditiriskan, selanjutnya dikeringkan ditempat terbuka sampai partikel kering untuk mendapatkan partikel kering udara yang seragam. Bahan perekat yang digunakan Semen Portland merk dagang Tonasa dan katalisator CaCl_2 sebanyak 3% dari berat semen serta diperlukan air untuk melarutkan katalisator.

Papan semen partikel dibuat berukuran 30 cm x 30 cm x 1,2 cm dengan rasio semen portland dan partikel batang kelapa sawit 3 : 1 kerapatan papan semen yang diinginkan sebesar 1,2 g/cm³ dan akselerator yang digunakan CaCl_2 sebanyak 3% dari berat semen. Partikel batang kelapa sawit dan semen diaduk hingga tercampur rata sambil dicampur dengan larutan akselerator. Hasil pencampuran bahan baku tersebut kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan diratakan sehingga diperoleh hamparan mat yang tersebar merata. kemudian dipress awal selama 10 menit. Lembaran papan semen dikelam dengan menggunakan mesin kempa dengan tekanan 40 bar selama 20 menit setelah itu tekanan dihentikan dan mesin dimatikan dan mat dibiarkan terjepit selama 24 jam. Papan diangkat dan disusun secara vertikal untuk dikeringkan selama 30 hari kemudian dipotong menjadi contoh uji.

Sebelum pengujian dilakukan, contoh uji dimasukkan ke dalam ruang konstan selama 7 hari dengan suhu rata-rata $20 \pm 1^\circ\text{C}$ dan kelembaban udara rata-rata $65 \pm 3\%$ sampai mencapai kadar air contoh uji normal, yaitu beku antara 8-12% kemudian dilakukan pengujian. Pengujian contoh uji berdasarkan tiga standar uji yaitu standar ISO 8335 (1987), BS 5669 (1989) dan MS 934 (1986) meliputi pengujian sifat fisika yaitu kerapatan, kadar air, penyerapan air dan pengembangan tebal serta pengujian sifat mekanika yaitu modulus of elasticity (MoE), modulus of rupture (MoR) dan keteguhan tarik tegak lurus permukaan (IBS). Pada penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan 3 perlakuan 5 (lima) kali ulangan dengan notasi perlakuan partikel tanpa perebusan (TP PR), perebusan 3 jam (PR 3 jam) serta perebusan 4 jam (PR 4 jam).

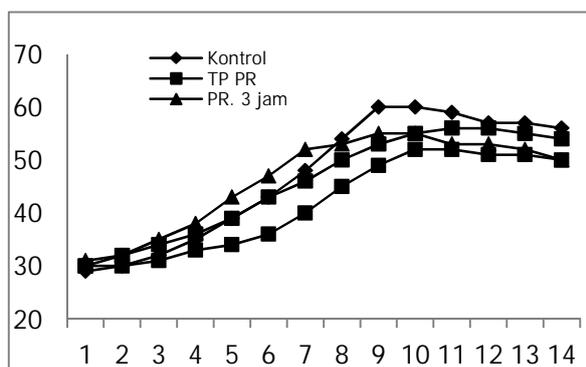
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Suhu Hidratasi

Pengukuran suhu hidratasi dilakukan untuk mengetahui kualitas bahan baku yang akan digunakan dalam proses pembuatan papan semen partikel. Peningkatan suhu semen dianggap mewakili proses pengerasan papan semen partikel. Pengukuran suhu hidratasi untuk setiap perlakuan partikel dan semen serta semen tanpa partikel dilakukan selama 14 jam.

Suhu maksimum hidratasi dari 4 (empat) perlakuan pengukuran suhu hidratasi yaitu Kontrol (campuran semen Tonasa dan air), partikel tanpa perebusan (TP PR), perebusan 3 jam (PR 3 jam) serta perebusan 4 jam (PR 4 jam),

partikel batang kelapa sawit berkisar antara 29°C sampai 60°C. Hasil pengukuran suhu hidratisi menggunakan metode Kamil (1970) menunjukkan suhu maksimum hidratisi pada Kontrol dan PR 3 jam dicapai pada jam ke-9 pertama sebesar 60°C dan 55°C, sedangkan tanpa perebusan dan PR 4 jam masing-masing dicapai pada jam ke-10 dan ke-11, suhu maksimum hidratisinya sebesar 52°C dan 56°C.



Gambar 1. Perubahan suhu hidratisi papan semen partikel batang kelapa sawit setiap jam selama 14 jam pengukuran.

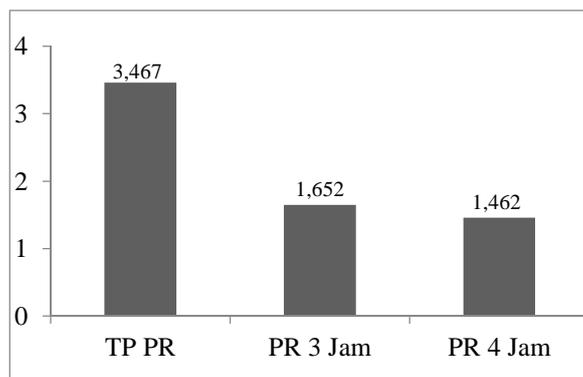
Gambar 1 memperlihatkan bahwa partikel batang kelapa sawit, tanpa perebusan dan perebusan memiliki temperatur maksimum hidratisi lebih besar dari metode Kamil (1970) yaitu 41°C hal ini menunjukkan bahwa partikel batang kelapa sawit tanpa perebusan dan perebusan termasuk baik untuk dijadikan papan semen partikel.

B. Kelarutan Zat Ekstraktif

Proses perebusan yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengeluarkan sebagian zat ekstraktif yang larut pada air panas. Kemudian dianalisis dengan metode ekstraksi menggunakan air panas sesuai standar TAPPI T 07 om-88, sehingga akan terlihat pengaruhnya partikel batang kelapa sawit yang mengalami perebusan lebih lama akan memiliki kelarutan zat ekstraktif yang lebih rendah pada saat diekstraksi lagi.

Hasil analisis memperlihatkan bahwa dalam Perebusan 3 jam dan Perebusan 4 jam besarnya zat ekstraktif yang tersisa dalam partikel lebih kecil dibanding dengan perlakuan tanpa perebusan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa perebusan 4 jam yang dilakukan dapat mengeluarkan sebagian besar zat ekstraktif yang terkandung didalam partikel batang kelapa sawit. Terlihat pada Gambar 2 menunjukkan bahwa

kandungan zat ekstraktif pada partikel batang kelapa sawit tanpaperebusan memiliki nilai yang lebih tinggi daripada perlakuan yang dilakukan perebusan terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan zat ekstraktif pada partikel batang kelapa sawit sudah terlarut selama proses perebusan partikel berlangsung sehingga jumlah kelarutannya semakin rendah.

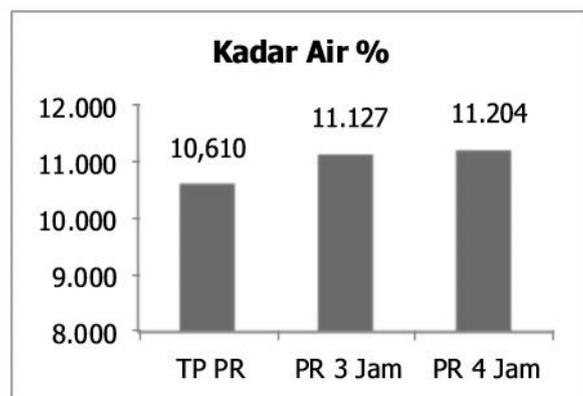


Gambar 2. Kelarutan zat ekstraktif partikel batang kelapa sawit

C. Sifat Fisika

1. Kadar air

Kadar air merupakan salah satu sifat fisik papan semen yang menunjukkan kandungan air papan semen partikel dalam keadaan kesetimbangan dengan lingkungan dan sekitarnya. Kadar air papan semen partikel berkisar antara 10,610%-11,204%. Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin lama perebusan partikel semakin meningkatkan kadar air hal ini diakibatkan oleh semakin sedikitnya jumlah zat ekstraktif yang terkandung dalam partikel kayu akibat terlarut selama proses perebusan sehingga sifat higroskopisnya semakin meningkat.



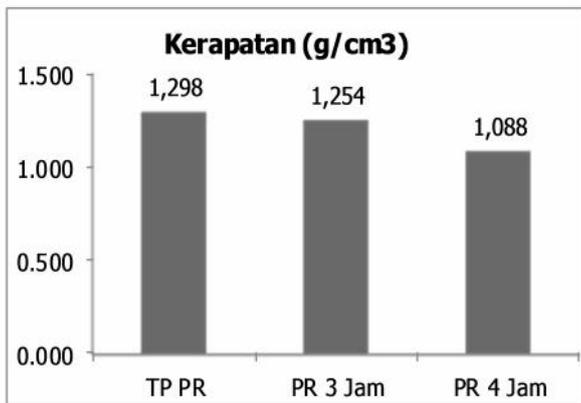
Gambar 3. Kadar air papan semen partikel

Dari analisis keragaman diketahui bahwa perbedaan perlakuan perebusan pada partikel berpengaruh sangat signifikan terhadap kadar air

papan semen partikel serta dari uji LSD diketahui bahwa kadar air papan dengan partikel batang kelapa sawit tanpa perebusan berbeda sangat signifikan dengan perlakuan perebusan partikel. Nilai rata-rata kadar air papan semen partikel yang dihasilkan memenuhi standar yang telah ditetapkan yaitu ISO 8335 (1987) sebesar 6-12%.

2. Kerapatan

Nilai rata-rata kerapatan papan semen partikel berkisar antara 1,088 g/cm³-1,298 g/cm³.

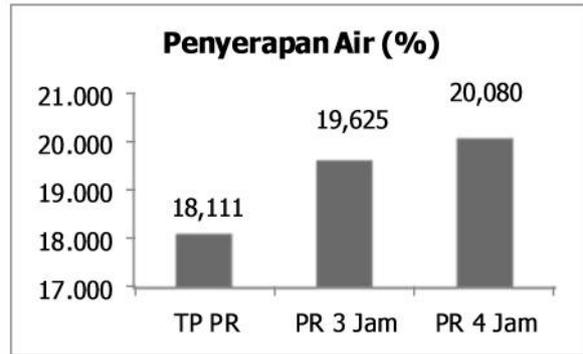


Gambar 4. Kerapatan papan semen partikel

Gambar 4 menunjukkan bahwa pada tanpa perebusan ke perlakuan perebusan 3 jam dan perlakuan perebusan 4 jam mengalami penurunan nilai kerapatan. Dari uji kelarutan zat ekstraktif diketahui bahwa perlakuan perebusan 3 jam dan perebusan 4 jam mengakibatkan keluarnya sebagian besar zat ekstraktif, selain itu juga terlepasnya sebagian massa partikel terutama pada PR 4 jam dari partikel batang kelapa sawit, hal ini menyebabkan berkurangnya berat partikel dan berpengaruh pada kerapatan papan semen partikel. Miller (1999) menyatakan bahwa kandungan zat ekstraktif akan mempengaruhi sifat kayu antara lain yaitu kerapatan. Dari analisis keragaman diketahui bahwa perbedaan perlakuan perebusan pada partikel batang kelapa sawit berpengaruh sangat signifikan terhadap kerapatan papan semen partikel. Nilai rata-rata kerapatan papan semen partikel yang dihasilkan memenuhi nilai standar yang telah ditetapkan yaitu ISO 8335 (1987) sebesar >1 g/mm³.

3. Penyerapan air

Nilai rata-rata penyerapan air papan semen partikel tertinggi diperoleh pada perebusan 4 jam sebesar 20,080% sedangkan nilai terendah diperoleh pada tanpa perebusan sebesar 18,111%.

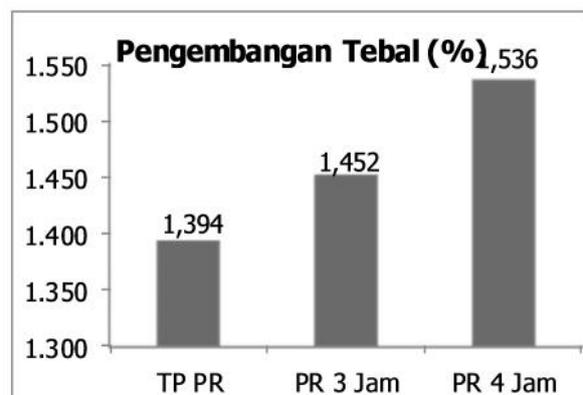


Gambar 5. Penyerapan air papan semen partikel

Gambar 5 menunjukkan bahwa perbedaan nilai penyerapan air papan perebusan 4 jam cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan perebusan 3 jam dan tanpa perebusan. Hal ini disebabkan oleh kerapatan papan semen partikel, semakin rendah kerapatan mengakibatkan rongga-rongga papan semen partikel semakin besar sehingga penyerapan air papan semen partikel semakin tinggi. Dari analisis keragaman diketahui bahwa perbedaan perlakuan perebusan pada partikel batang kelapa sawit tidak berpengaruh terhadap sifat penyerapan air papan semen partikel. Nilai rata-rata penyerapan air papan semen partikel yang dihasilkan memenuhi standar yang telah ditetapkan MS 934 (1986) <30%. Nilai hasil penelitian berada pada angka 18,111%-20,080%.

4. Pengembangan tebal

Nilai rata-rata pengembangan tebal tertinggi diperoleh pada perebusan 4 jam 1,536% sedangkan nilai terendah diperoleh pada tanpa perebusan sebesar 1,359%.



Gambar 6. Pengembangan tebal papan semen partikel

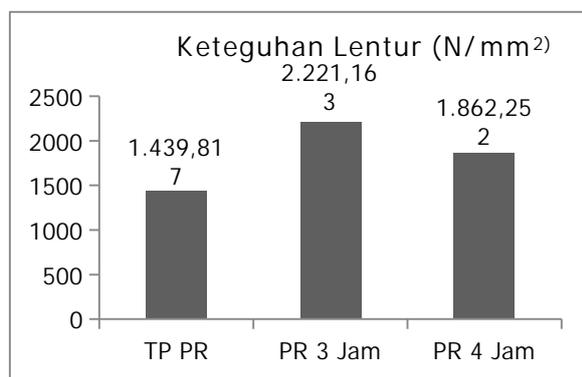
Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai rata-rata hasil pengujian pengembangan tebal pada sampel tanpa perebusan lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan perebusan 3 jam

dan perebusan 4 jam, hal ini disebabkan air yang dapat terserap oleh papan lebih sedikit, hal ini sesuai dengan pengujian penyerapan air papan semen partikel pada tanpa perebusan lebih rendah dibandingkan dengan perebusan 3 jam dan perebusan 4 Jam. Karena dengan meningkatnya daya serap air oleh papan semen partikel, air yang berada dalam lembaran papan meningkat sehingga menyebabkan ketebalan papan bertambah, dan mempengaruhi perubahan dimensi papan serta besarnya pengembangan tebal terhadap papan semen partikel yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini dipengaruhi pula oleh keluarnya zat ekstraktif akibat perlakuan perebusan pada partikel sehingga sifat pengembangan dimensinya, hal ini sejalan dengan pendapat Rowell (2005) yang menyatakan bahwa nilai pengembangan akan meningkat sejalan dengan pengurangan zat ekstraktif terutama yang berada dalam struktur dinding sel. Dari analisis keragaman diketahui bahwa perbedaan perlakuan perebusan pada partikel batang kelapa sawit tidak berpengaruh terhadap sifat pengembangan tebal papan semen partikel. Nilai rata-rata pengembangan tebal papan semen partikel yang dihasilkan memenuhi standar yang telah ditetapkan yaitu ISO 8335 (1987) sebesar $<2\%$.

D. Sifat Mekanik

1. Keteguhan lentur (MOE)

Nilai rata-rata keteguhan lentur tertinggi di peroleh pada perlakuan partikel perebusan 3 jam sebesar $2.221,163 \text{ N/mm}^2$ sedangkan nilai terendah diperoleh pada perlakuan tanpa perebusan sebesar $1.439,817 \text{ N/mm}^2$.



Gambar 7. Keteguhan lentur papan semen partikel

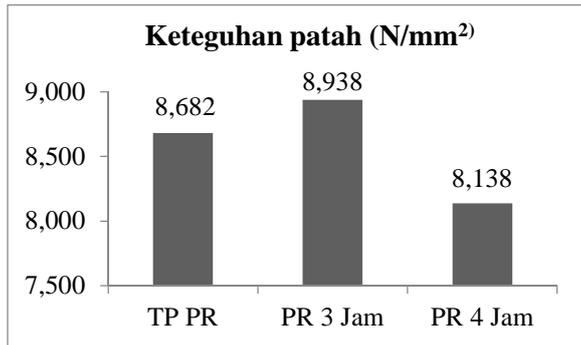
Berdasarkan Gambar 7 menunjukkan bahwa adanya peningkatan nilai rata-rata keteguhan lentur pada perebusan 3 jam. Hal ini disebabkan oleh keluarnya zat ekstraktif yang menyebabkan

ikatan semen dan partikel lebih baik. Hal ini sesuai dengan pendapat Hachmi dan Cambell (1988) yang menyatakan kandungan zat ekstraktif yang tinggi pada partikel kayu akan menghambat pengerasan semen. Perebusan 4 jam mengalami penurunan nilai kekuatan keteguhan lentur. Hal ini disebabkan dengan lamanya proses perebusan partikel selama 4 jam diduga banyak zat ekstraktif yang terlarut, massa dan struktur kayu ikut terdegradasi sehingga mengurangi kekuatan lentur papan semen partikel. Berdasarkan hasil perhitungan analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan perebusan pada partikel diketahui berpengaruh sangat signifikan terhadap keteguhan lentur papan semen partikel yang dihasilkan. Nilai rata-rata keteguhan lentur papan semen partikel yang dihasilkan tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan yaitu ISO 8335 (1987) sebesar $>3.000 \text{ N/mm}^2$.

2. Keteguhan patah (MOR)

Nilai rata-rata Keteguhan patah tertinggi di peroleh pada perlakuan partikel Perebusan 3 jam sebesar $8,938 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan nilai terendah diperoleh pada perlakuan perebusan 4 jam sebesar $8,138 \text{ N/mm}^2$.

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan bahwa adanya peningkatan nilai rata-rata keteguhan patah pada perebusan 3 jam memiliki nilai lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh keluarnya zat ekstraktif sehingga meningkatkan ikatan semen dan partikel semakin kuat. Pada perebusan 4 jam mengalami penurunan nilai kekuatan keteguhan patah, disebabkan lamanya proses perebusan maka selain zat ekstraktif banyak yang terlarut beserta massa dan struktur partikel yang terdegradasi sehingga menyebabkan penurunan nilai keteguhan patah papan semen partikel. Dari hasil perhitungan analisis keragaman diketahui bahwa perlakuan perebusan pada partikel tidak berpengaruh terhadap keteguhan patah (MOR) papan semen partikel. Nilai rata-rata keteguhan patah papan semen partikel yang dihasilkan tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan yaitu ISO 8335 (1987) sebesar $>9 \text{ N/mm}^2$.

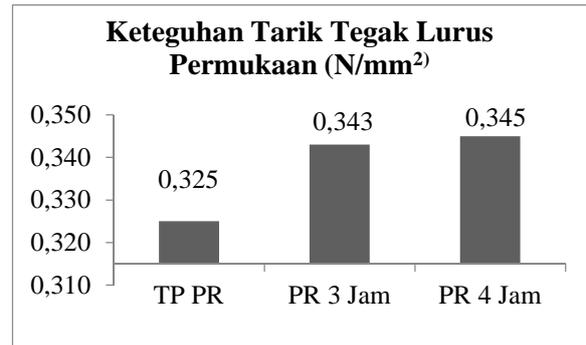


Gambar 8. Keteguhan patah papan semen partikel

3. Keteguhan tarik tegak lurus permukaan (IBS)

Nilai rata-rata keteguhan tarik tegak lurus permukaan tertinggi diperoleh pada perlakuan partikel perebusan 4 jam sebesar 0,345 N/mm² sedangkan nilai terendah diperoleh pada perlakuan tanpa perebusan sebesar 0,325 N/mm². Berdasarkan hasil pengujian yang terlihat pada Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai rata-rata hasil pengujian keteguhan tarik tegak lurus permukaan cenderung meningkat tanpa perebusan lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan perebusan 3 jam dan perebusan 4 jam. Hal ini karena ikatan antara semen dan partikel yang cukup baik sehingga kekuatan keteguhan tarik papan semen partikel semakin bagus. Hal ini sesuai dengan zat ekstraktif serta senyawa yang semakin sedikit akibat perebusan maka akan meningkatkan kekuatan mekanika papan semen partikel yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan Hachmi dan Campbell (1989) yang menyatakan bahwa beberapa komponen kayu seperti karbohidrat (gula sederhana, asam gula, hemiselulosa) dan ekstraktif (phenol dan tannin) merugikan terhadap reaksi hidratisasi papan semen.

Dari hasil perhitungan analisis keragaman diketahui bahwa perlakuan perebusan pada partikel tidak berpengaruh terhadap keteguhan tarik tegak lurus permukaan (IBS) papan semen partikel. Nilai rata-rata keteguhan tarik tegak lurus permukaan papan semen partikel yang dihasilkan tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan yaitu BS 5669 (1989) sebesar 0,45-0,5 N/mm².



Gambar 9. Keteguhan tarik tegak lurus permukaan papan semen partikel.

KESIMPULAN

Karakteristik kualitas yaitu sifat fisika papan semen partikel yang dihasilkan pada setiap pengujian memenuhi standar ISO 8335 (1987), hasil pengujian terbaik pada perlakuan tanpa perebusan yaitu kadar air (10,610%), kerapatan (1,298%) dan pengembangan tebal papan semen partikel (1,359%). Memenuhi standar MS 934 (1986) untuk pengujian penyerapan air papan semen partikel dengan hasil terbaik pada perlakuan tanpa perebusan (18,111%).

Karakteristik kualitas sifat mekanika papan semen partikel yang dihasilkan pada keteguhan lentur dan keteguhan patah papan semen partikel tidak sesuai dengan standar ISO 8335 (1987), MOE tertinggi pada perlakuan perebusan 3 Jam (2.221,163 N/mm²) demikian pula dengan MOR (8,938 N/mm²). Keteguhan tarik tegak lurus permukaan tidak sesuai dengan standar BS 5669 (1989) tertinggi pada perlakuan perebusan 4 Jam (0,345 N/mm²).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2016. Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017, Kelapa Sawit. Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Hachmi, M.H. and A.G. Campbell. 1988. Wood -- Cement Chemical Relationship Proceeding 1st International Conference on Fiber and Particleboard with Inorganic Binders. Idaho.
- Hachmi, M.H. and A.G. Campbell. 1989. Wood-Cement Chemical Relationship Fiber and Particle Board Bonded with Inorganic Binder Volume 1. Forest Product Society. USA.
- Haygreen JG, Bowyer JL. 2003. Forest Product and Wood Science : An Introduction.

- 3rdEdition. Iowa : Iowa State University Press/Ames.
- Kamil, R.H. 1970. Prospek Pendirian Papan Wol Kayu Di Indonesia.Laporan No. 5 LPHH. Bogor.
- Miller, R.B. 1999. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material. United States Departement of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. Madison, WI.
- Rowell, R.M. 2005.Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites.CRC Press. New York.
- Sastradimadja, E. 1988.Papan Majemuk Seri Papan Semen Seksi Teknologi Hasil Hutan. Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Samarinda.