

Kualitas Arang Aktif Kayu Gelam dan Aplikasinya untuk Meningkatkan Kualitas Air

(Activated Charcoal Quality of Gelam Wood and Its Application to Improve Water Quality)

Alpian¹, TA Prayitno², JP Gentur Sutapa², Budiadi²

¹ Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Pertanian, Universitas Palangka Raya, Kampus UNPAR Tunjung Nyaho, Palangka Raya 73111, Indonesia

² Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

Corresponding author: alpianmeran@yahoo.com (Alpian)

Abstract

Gelam (*Melaleuca cajuputi*) is the dominant tree species grown in swamp forests, especially in tidal areas in Central Kalimantan. Gelam wood has been used for construction and biomass energy, which is due to high density of wood. Previously studies reported that the quality of charcoal from wood stems of Gelam was better than that from roots, fruits, flowers, branches and leaves. The study was to investigate the characteristics of activated charcoal from wood stem of gelam which taken from different site and growth stages of the tree, and its utilizations for water quality improvement. The parameters observed were yield, moisture content, volatile matter content, ash content, fixed carbon, absorption of benzene, iodine and methylene blue. The Gelam wood from different growth site and stage of trees (saplings, poles, trees) can be used as raw material for activated charcoal production. The quality of activated charcoal fulfilled the quality requirements of technical activated charcoal (SNI 06-3730-1995), activated charcoal for the purification of edible oil (SNI 06-4262-1996) and drinking water (SNI 06-4253-1996), except for absorption of benzene. Generally, the quality of water treated by activated charcoal increased and fulfilled the requirements of clean water standards (Departemen Kesehatan 1990).

Key words: activated charcoal, gelam, stem wood, water quality

Pendahuluan

Kebakaran hutan yang berulang kali mengubah kondisi lahan dari hutan rawa masak tebang menjadi hutan tegakan seumur yang didominasi gelam (*Melaleuca cajuputi*) yang tahan kebakaran, belukar (semak-semak) dan padang rumput (Chokkalingam *et al.* 2004). Masyarakat tradisional dalam tahapan berladang untuk produksi padi setelah proses tebas dan tebang menggunakan proses pembakaran pada

areal ladang untuk membersihkan kayu dan semak sehingga memudahkan pekerjaan dan areal tersebut menjadi bersih yang biasanya dilakukan pada musim kemarau. Pasca berladang dan kebakaran tersebut menyebabkan regenerasi dan perluasan lahan yang ditumbuhi gelam yang termasuk jenis cepat tumbuh (Suyanto *et al.* 2004). Riap diameter pohon gelam sampai umur 6 tahun mencapai 1-1,5 cm per tahun dan umur 20-30 tahun riap sebesar 0,5-1 cm per tahun (Rachmanady *et al.* 2003. Pengembangan Lahan Gambut

(PLG) sejuta hektar di Kalimantan Tengah untuk transmigrasi tidak bisa ditanami dan dikembangkan sehingga banyak lahan yang terlantar dan ditumbuhi tanaman gelam (Poniman *et al.* 2006). Pohon gelam merupakan salah satu jenis tumbuhan yang unik karena sangat toleran pada kondisi tanah yang ekstrim, seperti keasaman dan salinitas tinggi serta genangan air (Rachmanady *et al.* 2003). Tanah yang mengandung pirit dan sulfat masam, pohon gelam dapat tumbuh rapat karena tumbuhan lain tidak dapat tumbuh di habitat tersebut. Pohon gelam lokasi PLG ditebang cara konvensional oleh masyarakat dan dimanfaatkan kayunya yang bernilai komersial (Departemen Kehutanan 2007). Potensi tegakan gelam berdasarkan survey yang dilakukan di areal bekas PLG pada blok D di Provinsi Kalimantan Tengah dan data hasil inventarisasi vegetasi penyusun hutan (BPDAS Kahayan 2007) pada kedua lokasi tersebut didominasi jenis pohon Gelam. Berat jenis kayu gelam 0.85, kelas awet III dan kelas kuat II (Rachmanady *et al.* 2003). Berat jenis kayu berhubungan dengan kualitas arang kayu yang dihasilkan (Seng 1990). Penelitian pendahuluan terhadap kualitas arang dari akar, batang, buah, bunga cabang dan daun gelam menunjukkan bahwa batang gelam menghasilkan kualitas arang yang terbaik.

Arang aktif berguna sebagai adsorben untuk menjernihkan, menghilangkan warna, bau, racun, penyaring untuk melepaskan atau memodifikasi berbagai garam, dan sebagai katalis dan bahan penunjang katalis. Arang aktif digunakan di industri makanan, farmasi, kimia, perminyakan, pertambangan, nuklir, otomotif dan industri pengolahan air minum, air limbah industri dan pekotaan, serta udara dan gas (Bansal *et al.* 1988).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kualitas arang aktif dari batang gelam, dan aplikasinya untuk meningkatkan kualitas air sungai dan air sumur bor.

Bahan dan Metode

Bahan dan alat

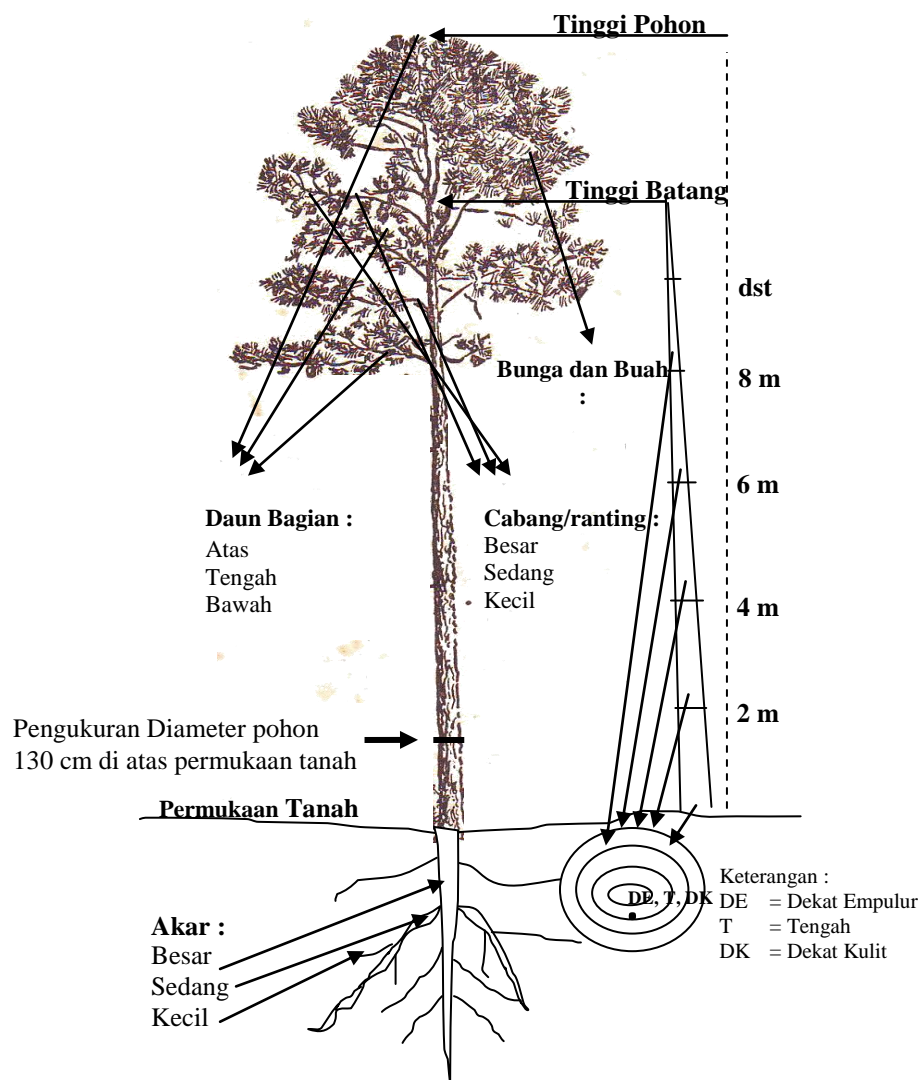
Bahan yang dipergunakan dalam penelitian adalah pohon gelam yang diperoleh dari kabupaten Kapuas, provinsi Kalimantan Tengah pada blok D bekas areal PLG yang terbagi dalam 2 lokasi berbeda, yaitu lokasi A (rawa pasang surut tipe terluapi pasang besar dengan ketebalan gambut dangkal (51-100 cm) dan lokasi B (rawa pasang surut tipe tidak terluapi pasang dengan air tanah dangkal dengan ketebalan gambut sedang (101-200 cm)). Pohon gelam dibagi ke dalam 3 kelas tingkat pertumbuhan, yaitu pancang (*sapling*) tinggi pohon >1,5m sampai diameter pohon < 10cm, tiang (*pole*) diameter pohon 10-20 cm dan pohon (*tree*) diameter pohon > 20 cm, air sungai dan air sumur bor dari Kalimantan Tengah. Bahan kimia yang digunakan diantaranya : aquades, larutan Iodium (I_2), larutan kanji, larutan biru metilen, natrium tio-sulfat ($Na_2S_2O_3$) dan benzena (C_6H_6). Alat yang dipergunakan dalam penelitian adalah *retort* listrik kapasitas 10 kg untuk pembuatan arang, *furnace thermoline*, saringan (20, 45, 60, 325 mesh), timbangan analitik, oven, desikator, labu ukur, buret, kompor listrik, corong, ember, plastik klip, cawan porselin, cawan arloji, pipet godok, saringan, spektrofotometer, *blender* dan kertas saring.

Metode

Pengambilan sampel pohon

Penelitian pendahuluan menganalisis kualitas arang. Pohon yang dijadikan sampel diambil dari 2 lokasi tempat

sedang dan besar sebanyak 3 sampel) dan akar (kecil, sedang dan besar sebanyak 3 sampel). Batang di ambil sampel setiap interval 2 meter pada arah aksial dan arah radial (dekat kulit, tengah dan dekat empulur).



Gambar 1 Pengambilan sampel uji.

Table 1 Data pohon gelam contoh penelitian di lokasi A dan B

| Ukuran pohon | Keliling pohon (cm) | Diameter pohon (cm) | Tinggi pohon (cm) | Panjang batang (cm) | Tinggi tajuk (cm) | Diameter tajuk (cm) | Kedalaman akar (cm) | Diameter akar (cm) |
|--------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Pancang | 4,50 | 1,43 | 288,63 | 245,63 | 134,50 | 59,50 | 42,50 | 65,00 |
| | 13,00 | 4,14 | 872,00 | 630,00 | 300,00 | 150,00 | 55,00 | 90,00 |
| | 26,00 | 8,28 | 1050,00 | 800,00 | 400,00 | 180,00 | 80,00 | 150,00 |
| Tiang | 32,00 | 10,19 | 1071,00 | 800,00 | 406,00 | 238,00 | 85,00 | 180,00 |
| | 44,00 | 14,01 | 1289,00 | 989,00 | 570,00 | 250,00 | 95,00 | 215,00 |
| | 56,00 | 17,83 | 1343,00 | 1000,0 | 600,00 | 358,00 | 99,00 | 248,00 |
| Pohon | 63,00 | 20,05 | 1347,00 | 953,00 | 634,00 | 379,00 | 100,00 | 270,00 |
| | 83,00 | 26,42 | 1750,00 | 1200,00 | 820,00 | 570,00 | 118,00 | 304,00 |
| | 100,00 | 31,83 | 1880,00 | 1200,00 | 800,00 | 600,00 | 139,00 | 353,00 |
| Jumlah | 421,50 | 134,18 | 10890,6 | 7817,63 | 4664,50 | 2784,50 | 813,50 | 1875,00 |
| Rataan | 46,83 | 14,91 | 1210,07 | 868,63 | 518,28 | 309,39 | 90,39 | 208,33 |
| Pancang | 4,50 | 1,43 | 331,75 | 275,00 | 136,00 | 62,00 | 54,00 | 61,25 |
| | 13,00 | 4,14 | 780,00 | 600,00 | 270,00 | 100,00 | 80,00 | 110,00 |
| | 26,00 | 8,28 | 1190,00 | 980,00 | 350,00 | 155,00 | 80,00 | 130,00 |
| Tiang | 32,00 | 10,19 | 1370,00 | 1000,00 | 530,00 | 220,00 | 90,00 | 170,00 |
| | 44,00 | 14,01 | 1450,00 | 1000,00 | 560,00 | 300,00 | 100,00 | 220,00 |
| | 56,00 | 17,83 | 1620,00 | 1230,00 | 660,00 | 340,00 | 110,00 | 235,00 |
| Pohon | 63,00 | 20,05 | 1650,00 | 1200,00 | 670,00 | 350,00 | 110,00 | 250,00 |
| | 83,00 | 26,42 | 1740,00 | 1320,00 | 720,00 | 430,00 | 135,00 | 260,00 |
| | 100,00 | 31,83 | 1945,00 | 1355,00 | 795,00 | 450,00 | 140,00 | 320,00 |
| Jumlah | 421,50 | 134,18 | 12076,7 | 8960,00 | 4691,00 | 2407,00 | 899,00 | 1756,25 |
| Rataan | 46,83 | 14,91 | 1341,86 | 995,56 | 521,22 | 267,44 | 99,89 | 195,14 |

Keterangan : Diameter pohon (cm) = keliling pohon / π (3.142857)

Persiapan bahan

Pengambilan sampel daun, bunga, buah, cabang, batang dan akar. Cabang dan akar (sedang dan besar) dan batang di potong dengan ukuran (2x2x4) cm untuk keseragaman ukuran, Cabang dan akar (kecil) di potong dengan panjang 4 cm. dikering angin. Sampel daun, bunga, buah, cabang, batang dan akar dikering anginkan selama 1 bulan. Hasil

perhitungan kadar air kering udara tersaji pada Tabel 2.

Pirolisis

Sampel yang telah kering angin ditimbang berat, kemudian di masukan dalam retort listrik dan dipanaskan dengan suhu 500 °C selama 3 jam secara terpisah berdasarkan lokasi, bagian pohon dan didinginkan selama 24 jam, lalu di timbang berat arangnya.

Tabel 2 Kadar air kering udara sampel uji penelitian

| Bagian pohon | Kadar air kering udara, % | |
|--------------|---------------------------|----------|
| | Lokasi A | Lokasi B |
| Akar | 14,028 | 15,443 |
| Batang | 15,678 | 15,620 |
| Cabang | 14,358 | 15,863 |
| Daun | 11,070 | 11,713 |
| Bunga | 12,166 | 12,678 |
| Buah | 13,475 | 13,241 |

Pengujian kualitas arang

Sampel arang daun, bunga, buah, cabang, batang dan akar dilakukan pengujian kualitasnya (kadar air/ASTM D3173, kadar zat mudah menguap/ASTM 3175, kadar abu/ASTM D 3174 dan kadar karbon terikat/ ASTM D 3172).

Pembuatan sampel arang aktif

Arang dari bagian batang yang dijadikan bahan pembuatan arang aktif karena batang memiliki proporsi biomassa terbesar dibandingkan bagian pohon lain dengan kualitas arang terbaik tersaji pada Tabel 3. Arang bagian batang diambil dengan besaran volume yang sama berdasarkan arah radial dan aksial dicampur dan dihaluskan menggunakan *blender* agar tercampur homogen. Serbuk disaring dengan ukuran lolos 20 mesh dan tertahan 45 mesh.

Aktivasi arang

Serbuk yang tersaring diaktivasi dilakukan dengan cara fisika, yaitu merendam serbuk arang yang sudah disaring ke dalam air dingin selama 24 jam dan disaring/ditiriskan. Proses aktivasi dilanjutkan dengan memanaskan arang dalam *furnace thermoline* dengan suhu 900 °C selama 1 jam.

Pengujian mutu arang aktif

Serbuk arang yang sudah diaktivasi didinginkan. Arang dianalisis Rendemen (Sudradjat & Pari 2011), kadar air (ASTM D3173), kadar zat mudah menguap (ASTM 3175), Kadar abu (ASTM D 3174) dan kadar karbon terikat (ASTM D 3172). Serbuk arang kemudian dihaluskan untuk analisis daya serap terhadap benzene (SNI 1995), daya serap terhadap iodium (SNI 1995) dan daya serap terhadap biru metilen (SNI 1995).

Analisis data

Analisis data menggunakan percobaan faktorial dengan rancangan dasar rancangan acak lengkap (RAL) dengan dua faktor perlakuan, yaitu lokasi tempat tumbuh Gelam (A) dan tingkat pertumbuhan pohon (B). Faktor A terdiri dari 2 level, yaitu rawa pasang surut tipe terluapi pasang besar dengan ketebalan gambut dangkal (51-100 cm) dan rawa pasang surut tipe tidak terluapi pasang dengan air tanah dangkal dengan ketebalan gambut sedang (101-200 cm). Faktor A terdiri dari 3 level, yaitu pancang (*sapling*) tinggi pohon >1,5 m sampai diameter pohon < 10 cm, tiang (*pole*) diameter pohon 10-20cm dan pohon (*tree*) diameter pohon > 20 cm dengan masing 3 ulangan. Hasil analisis varian jika berbeda nyata dilakukan uji lanjut LSD (*Least Significant Difference*).

Aplikasi arang aktif untuk meningkatkan kualitas air

Arang aktif yang dipergunakan adalah arang aktif yang nilai daya serap terhadap iodium terendah (852,45 mg g⁻¹) dan tertinggi (1375,28 mg g⁻¹). Arang aktif yang dipilih dicampurkan ke dalam 3 sampel air, yaitu : air sungai dari desa Anjir Kalampan (A), air sungai dari desa Saka Mangkahai (B) dan air dari sumur bor kota Palangka Raya (C), dengan komposisi campuran 1 gram arang aktif (lolos 325 mesh) ke dalam 100 ml, larutan tersebut diaduk sampai homogen, dibiarkan selama 1 jam, lalu disaring dengan kertas saring. Air yang tersaring (diberi perlakuan arang aktif) dibandingkan kualitas airnya dengan air (tidak diberi arang aktif). Prosedur ini mengacu dari penelitian Sujarwo (2007). Parameter kualitas air yang dianalisis adalah warna, kekeruhan, pH, kesadahan, kadar besi dan kadar mangan.

Hasil dan Pembahasan

Kualitas arang gelam

Penelitian pendahuluan mengkaji kualitas arang berdasarkan bagian pohon (akar, batang, bunga, buah, cabang dan daun). Parameter kualitas arang yang diuji meliputi kadar air, kadar zat mudah menguap, kadar abu dan kadar karbon terikat tersaji pada Tabel 3. Hasil penelitian pendahuluan pada Tabel 3 terlihat bahwa kualitas arang dari batang paling baik dibandingkan dengan bagian pohon lainnya (akar, bunga, buah, cabang dan daun). Hasil survey potensi biomassa, kedua lokasi memiliki pola distribusi biomassa yang sama. Potensi biomassa pada lokasi A terbesar bagian batang sebesar 73,567 ton ha⁻¹ disusul akar 28,317 ton ha⁻¹, cabang 22,877 ton ha⁻¹, daun 1,724 ton ha⁻¹, buah 0,841 ton ha⁻¹, dan bunga 0,197 ton ha⁻¹, sedangkan pada lokasi B terbesar bagian batang sebesar 89,566 ton ha⁻¹ disusul akar 31,288 ton/ha, 20,368 ton ha⁻¹, 2,757 ton ha⁻¹, buah 0,435 ton ha⁻¹ dan bunga 0,013 ton ha⁻¹. Arang dari bagian batang memiliki kualitas arang terbaik dan proporsi biomassa terbesar dibandingkan bagian pohon lain menjadi dasar pertimbangan untuk diteliti lebih lanjut sebagai bahan arang aktif.

Kualitas arang aktif batang gelam

Nilai kualitas arang aktif yang diuji meliputi rendemen, kadar air, kadar zat mudah menguap, kadar abu, kadar karbon terikat, daya serap terhadap benzena, daya serap terhadap iodium dan daya serap terhadap biru metilen (Tabel 4). Arang aktif yang nilai daya serap terhadap iodium terendah (852.45 mg g⁻¹) dan tertinggi (1375.28 mg g⁻¹) diaplikasikan untuk meningkatkan kualitas air, yaitu :

air sungai dari desa Anjir Kalampan (A) , air sungai dari desa Saka Mangkahai (B) dan air dari sumur bor kota Palangka Raya (C) dengan hasil analisis terlihat pada Tabel 5.

Rendemen

Rendemen arang aktif dari batang gelam tingkat pancang, tiang dan pohon berkisar antara 60,24-76,87% (Tabel 4). Rendemen tertinggi diperoleh dari arang aktif batang tingkat pohon dari lokasi A, sedangkan rendemen terendah diperoleh dari arang aktif batang tingkat pancang dari lokasi A. Data analisis varian menunjukkan rendemen yang dihasilkan dari perlakuan faktor A, faktor B dan interaksi tidak signifikan. Data pada Tabel 4 pada kedua lokasi memiliki pola kecenderungan yang sama, yaitu rendemen arang tingkat pancang dan tiang lebih kecil dari tingkat pohon. Pengamatan secara visual terlihat warna kayu pada tingkat pohon berwarna agak gelap yang menandakan sudah terbentuk kayu teras yang tentunya berpengaruh terhadap berat jenis kayu. Seng (1964) dan Pari (1996) menyatakan pengaruh berat jenis kayu ada kecenderungan makin tinggi berat jenis kayu maka rendemen arang yang dihasilkan makin besar. Seng (1990) menyatakan ada kecenderungan berat jenis kayu bertambah besar dengan semakin membesarnya diameter pohon. Begitu juga jika semakin lama waktu aktivasi maka terjadinya reaksi antara atom karbon dengan zat pengoksidasi membentuk CO, CO₂ dan H₂ makin banyak sehingga arang aktif yang terbentuk juga akan semakin berkurang (Pari 2005). Kecenderungan ini sesuai dengan teori kinetik yaitu jika suhu reaksi naik maka kecepatan reaksi antara karbon dan uap air akan meningkat (Hudaya & Hartoyo 1990).

Tabel 3 Kualitas arang pohon Gelam

| Parameter | Lokasi A | | | | | |
|--------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Akar | Batang | Bunga | Buah | Cabang | Daun |
| Kadar air (%) | 4,078 | 5,129 | 6,333 | 5,230 | 2,742 | 4,409 |
| Zat terbang (%) | 34,615 | 36,426 | 48,257 | 39,346 | 34,729 | 42,469 |
| Kadar abu (%) | 3,175 | 1,672 | 10,911 | 7,125 | 4,189 | 12,112 |
| Karbon terikat (%) | 58,132 | 56,773 | 34,498 | 48,299 | 58,314 | 41,010 |
| | Lokasi B | | | | | |
| | | | | | | |
| Kadar air (%) | 3,974 | 4,958 | 6,302 | 3,763 | 3,617 | 6,216 |
| Zat terbang (%) | 34,123 | 37,051 | 41,150 | 40,258 | 35,834 | 43,618 |
| Kadar abu (%) | 3,272 | 2,275 | 10,911 | 7,785 | 6,074 | 12,959 |
| Karbon terikat (%) | 58,631 | 55,717 | 41,637 | 48,193 | 54,474 | 37,207 |

Tabel 4 Kualitas arang aktif dari bagian batang kayu Gelam

| Perlakuan | Rendemen (%) | Kadar air (%) | Zat mudah menguap (%) | Kadar abu (%) | Karbon terikat (%) | Kapasitas penyerapan benzena (%) | Kapasitas penyerapan Iodium (mg g ⁻¹) | Kapasitas penyerapan Metilena biru (mg g ⁻¹) |
|-------------------|--------------|---------------|-----------------------|---------------|--------------------|----------------------------------|---|--|
| APc1 | 60,24 | 5,55 | 38,10 | 2,70 | 53,65 | 4,59 | 1179,22 | 134,25 |
| APc2 | 65,47 | 6,70 | 27,50 | 3,50 | 62,30 | 9,78 | 1375,28 | 131,19 |
| APc3 | 73,68 | 3,20 | 20,55 | 3,15 | 73,10 | 4,76 | 950,48 | 131,56 |
| Rataan | 66,47 | 5,15 | 28,72 | 3,12 | 63,02 | 6,38 | 1168,33 | 132,33 |
| ATg1 | 67,88 | 5,25 | 24,20 | 3,80 | 66,75 | 3,46 | 852,45 | 131,44 |
| ATg2 | 65,52 | 2,85 | 20,55 | 3,50 | 73,10 | 8,53 | 1211,90 | 131,94 |
| ATg3 | 67,20 | 4,80 | 21,95 | 3,10 | 70,15 | 9,51 | 1179,22 | 134,20 |
| Rataan | 66,86 | 4,30 | 22,23 | 3,47 | 70,00 | 7,17 | 1081,19 | 132,53 |
| APh1 | 63,43 | 5,55 | 23,45 | 3,35 | 67,65 | 8,74 | 1179,22 | 132,94 |
| APh2 | 76,87 | 2,15 | 21,75 | 3,00 | 73,10 | 3,66 | 917,80 | 131,64 |
| APh3 | 72,51 | 3,05 | 16,90 | 2,55 | 77,50 | 3,25 | 917,80 | 132,52 |
| Rataan | 70,94 | 3,58 | 20,70 | 2,97 | 72,75 | 5,21 | 1004,94 | 132,37 |
| BPc1 | 66,55 | 6,20 | 32,75 | 3,55 | 57,50 | 9,01 | 917,80 | 130,76 |
| BPc2 | 68,28 | 4,55 | 25,05 | 2,50 | 67,90 | 8,75 | 1048,51 | 129,68 |
| BPc3 | 69,51 | 5,50 | 31,80 | 3,65 | 59,05 | 9,58 | 1146,54 | 132,12 |
| Rataan | 68,11 | 5,42 | 29,87 | 3,23 | 61,48 | 9,11 | 1037,62 | 130,85 |
| BTg1 | 62,00 | 4,75 | 26,10 | 3,60 | 65,55 | 9,17 | 1211,90 | 133,37 |
| BTg2 | 72,08 | 5,70 | 34,55 | 3,55 | 56,20 | 10,62 | 1309,93 | 129,61 |
| BTg3 | 69,33 | 3,30 | 27,85 | 2,60 | 66,25 | 8,67 | 1179,22 | 132,57 |
| Rataan | 67,80 | 4,58 | 29,50 | 3,25 | 62,67 | 9,49 | 1233,68 | 131,85 |
| BPh1 | 61,01 | 3,55 | 30,55 | 3,85 | 62,05 | 8,28 | 1048,51 | 131,59 |
| BPh2 | 76,53 | 3,35 | 23,70 | 2,80 | 70,15 | 5,52 | 950,48 | 131,56 |
| BPh3 | 75,25 | 3,55 | 23,60 | 3,80 | 69,05 | 8,58 | 1146,54 | 128,65 |
| Rataan | 70,93 | 3,48 | 25,95 | 3,48 | 67,08 | 7,46 | 1048,51 | 130,60 |
| Jumlah | 68,52 | 4,42 | 26,16 | 3,25 | 66,17 | 7,47 | 1095,71 | 131,75 |
| SNI 06-3730-1995- | | Maks 15 | Maks. 25 | Maks 10 | Min.65% | - | Min.750 | Min.120 |
| SNI 06-4253-1996- | | Maks. 5 | - | Maks. 5 | - | Min.30 | Min.1000 | Min. 110 |
| SNI 06-4262-1996- | | Maks. 13 | | Maks. 4 | - | - | Min. 1000 | Min. 130 |

Notes : A = Site A ; B = Site B ; Pc1 = Sapling (diameter 1,43 cm) ; Pc2 = Sapling (diameter 4,14 cm) ; Pc1 = Sapling (diameter 8,28 cm) ; Tg1 = Pole (diameter 10,19 cm) ; Tg2 = Pole (diameter 14,01 cm) ; Tg3 = Pole (diameter 17,83 cm) ; Ph1 = Tree (diameter 20,05 cm) ; Ph2 = Tree (diameter 26,42 cm) ; Ph3 = Tree (diameter 31,83 cm) ; SNI 06-3730-1995 Arang aktif teknis/ Activated charcoal technical ; SNI 06-4253-1996 Arang aktif untuk air minum/Activated charcoal for drinking water ; SNI 06-4262-1996 Arang aktif untuk pemurnian minyak makan/Activated charcoal for the purification of edible oil.

Tabel 5 Kualitas air sebelum dan setelah perlakuan arang aktif batang kayu gelam

| Parameter | Hasil Analisis | | | | | | | | | Standar (Depkes, 1990) |
|---------------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------------|
| | A0 | A1 | A2 | B0 | B1 | B2 | C0 | C1 | C2 | |
| Warna (Pt-Co) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 24,00 | 5,00 | 4,00 | 3,00 | 4,00 | 4,00 | Maks. 50,00 |
| Turbidity (NTU) | 1,00 | 5,00 | 3,00 | 48,00 | 15,00 | 7,00 | 2,00 | 12,00 | 8,00 | Maks. 25,00 |
| pH | 2,93 | 3,91 | 3,94 | 4,41 | 5,83 | 5,67 | 4,41 | 6,32 | 6,49 | 6,50 – 9,00 |
| Kekerasan (mg l ⁻¹) | 107,62 | 112,54 | 114,10 | 121,66 | 119,94 | 131,17 | 128,71 | 126,19 | 128,95 | Maks. 500,00 |
| Besi (mg l ⁻¹) | 0,30 | 0,24 | 0,27 | 0,33 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | Maks. 1,00 |
| Mangan (mg l ⁻¹) | 0,62 | 0,18 | 0,19 | 0,06 | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | Maks. 0,50 |

Catatan :

A= river water from the village of Anjir Kalampan; B= river water from the village of Saka Mangkahai; C= water wells drilled Palangka Raya city; 0= Kontrol; 1= activated charcoal absorption of iodine is the lowest; 2=activated charcoal absorption of iodine is the highest; Pt-Co = Platina Cobalt; NTU = Nephelometric Turbidity Unit.

Kadar air

Nilai kadar air dalam arang aktif berkaitan dengan sifat higroskopis arang aktif terhadap air. Kadar air arang aktif dari batang gelam tingkat pancang, tiang dan pohon berkisar antara 2,15-6,70% (Tabel 4). Kadar air tertinggi diperoleh dari arang aktif batang tingkat pancang dari lokasi B, sedangkan kadar air terendah diperoleh dari arang aktif batang tingkat pohon dari lokasi B. Data analisis varian menunjukkan kadar air yang dihasilkan dari perlakuan faktor A, faktor B dan interaksi tidak signifikan. Kadar air yang diperoleh sudah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995 dan arang pemurnian minyak makana SNI 06-4262-1996, sedangkan syarat mutu arang aktif untuk air minum SNI 06-4253-1996 hanya tingkat pancang baik lokasi A dan B tidak memenuhi syarat dengan kadar air > 5% (Tabel 4). Kedua lokasi memiliki pola kecenderungan yang sama, yaitu kadar air arang tingkat pancang lebih besar dari tingkat tiang dan tingkat tiang lebih besar dari tingkat pohon. Kadar air arang erat kaitanya dengan berat jenis kayu yang digunakan, karena sifat higroskopis. Kayu dengan berat jenis rendah mempunyai struktur ikatan antara partikel arang

kurang kompak dan memiliki rongga sehingga diisi oleh uap air dari udara yang mengakibatkan kadar air lebih besar bila dibandingkan dengan kayu berat jenis tinggi. Sudradjat (1983) menjelaskan jenis kayu berpengaruh terhadap kadar air arang, dimana kayu dengan berat jenis rendah memberikan nilai kadar air yang lebih besar daripada kayu dengan berat jenis tinggi.

Kadar zat mudah menguap

Nilai kadar zat mudah menguap berhubungan dengan kandungan senyawa yang mudah menguap dalam arang aktif. Kadar zat mudah menguap arang aktif dari batang gelam tingkat pancang, tiang dan pohon berkisar antara 20,55-38,10%. Kadar zat mudah menguap tertinggi diperoleh dari arang aktif batang tingkat pancang dari lokasi B, sedangkan kadar zat mudah menguap terendah diperoleh dari arang aktif batang tingkat pohon dari lokasi A (Tabel 4). Data analisis varian menunjukkan kadar zat mudah menguap yang dihasilkan dari perlakuan faktor A, faktor B dan interaksi tidak signifikan. Berdasarkan syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995 hanya arang aktif pada tingkat tiang dan pohon dari lokasi A yang memenuhi syarat sedangkan tingkat pohon

dari lokasi B hampir memenuhi syarat mendekati $< 25\%$. Syarat mutu arang aktif untuk pemurnian minyak makanan (SNI 06-4262-1996) dan arang aktif untuk air minum (SNI 06-4253-1996) tidak mensyaratkan kadar zat mudah menguap (Tabel 4). Kadar zat mudah menguap arang aktif dari batang pada tingkat pancang dan tiang lebih besar dari 25% disebabkan karena tidak sempurnanya penguraian senyawa non karbon seperti CO_2 , CO , CH_4 dan H_2 (Pari *et al.* 2000). Kandungan senyawa non karbon seperti CO_2 , CO , CH_4 dan H_2 menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori arang aktif sehingga luas permukaan arang aktif menjadi berkurang dan mengurangi kemampuan penyerapan. Data pada Tabel 4 pada kedua lokasi memiliki pola kecenderungan yang sama, yaitu kadar zat mudah menguap arang tingkat pancang lebih besar dari tingkat tiang dan tingkat tiang lebih besar dari tingkat pohon. Huda *et al.* (1989) menyatakan perbedaan kadar zat mudah menguap disebabkan oleh perbedaan kadar air, makin tinggi kadar air makin tinggi pula kadar zat mudah menguap.

Kadar abu

Nilai kadar abu dalam arang aktif berhubungan dengan kandungan oksida logam. Kadar abu arang aktif dari batang gelam tingkat pancang, tiang dan pohon berkisar antara 2,50-3,85% (Tabel 4). Kadar abu tertinggi diperoleh dari arang aktif batang tingkat pohon dari lokasi B, sedangkan kadar abu terendah diperoleh dari arang aktif batang tingkat pohon dari lokasi A. Kadar abu yang dihasilkan dari perlakuan faktor A, faktor B dan interaksi secara statistik tidak signifikan. Kadar abu sudah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995, arang aktif untuk pemurnian minyak makanan SNI 06-4262-1996 dan arang aktif untuk air

minum SNI 06-4253-1996. Kandungan abu yang berlebihan menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori arang aktif sehingga luas permukaan arang aktif menjadi berkurang. (Suherman *et al.* 2009).

Kadar karbon terikat

Nilai kadar karbon terikat arang aktif berhubungan dengan kandungan karbon murni yang terikat dalam arang aktif setelah proses aktivasi. Kadar karbon terikat arang aktif dari batang gelam tingkat pancang, tiang dan pohon berkisar antara 53,65-77,50% (Tabel 4). Kadar karbon terikat tertinggi diperoleh dari arang aktif batang tingkat tiang dari lokasi A, sedangkan kadar karbon terikat terendah diperoleh dari arang aktif batang tingkat tiang dari lokasi B. Data analisis varian menunjukkan kadar karbon terikat yang dihasilkan dari perlakuan faktor A, faktor B dan interaksi tidak signifikan (Tabel 5). Kadar terikat yang memenuhi syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995 adalah arang aktif batang tingkat tiang dan pohon dari lokasi A dan arang aktif batang tingkat pohon dari lokasi B, sedangkan yang lain hampir mendekati nilai kadar karbon terikat 65%. Syarat mutu arang aktif untuk pemurnian minyak makanan (SNI 06-4262-1996) dan arang aktif untuk air minum (SNI 06-4253-1996) tidak mensyaratkan kadar zat mudah menguap (Tabel 4). Kadar karbon terikat yang rendah menggambarkan bahwa tingkat kemurnian arang aktif yang dihasilkan masih relatif kecil dan permukaan arang aktif masih mengandung senyawa non karbon (Pari 1999). Besar kecilnya kadar karbon terikat arang aktif yang dihasilkan dipengaruhi oleh bervariasinya kadar abu dan kadar zat mudah menguap (Perrich 1981).

Daya serap terhadap benzena

Daya serap arang aktif terhadap iodium berhubungan dengan kemampuan arang aktif dalam menyerap gas dengan ukuran molekul kurang lebih 6 Angstrom. Daya serap terhadap uap benzena arang aktif dari batang gelam tingkat pancang, tiang dan pohon berkisar antara 3,25-10,62% (Tabel 4). Daya serap terhadap uap benzena tertinggi diperoleh dari arang aktif batang tingkat pohon dari lokasi A, sedangkan daya serap terhadap uap benzena terendah diperoleh dari arang aktif batang tingkat tiang dari lokasi A. Data analisis varian menunjukkan daya serap terhadap benzena yang dihasilkan dari perlakuan faktor A, faktor B dan interaksi tidak signifikan (Tabel 5). Kisaran nilai daya serap arang aktif terhadap uap benzena tidak ada yang memenuhi syarat Mutu Arang Aktif untuk air minum SNI 06-4253-1996. Syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995 dan arang aktif untuk pemurnian minyak makanan SNI 06-4262-1996 tidak mensyaratkan daya serap terhadap benzena (Tabel 4). Rendahnya daya serap arang aktif terhadap benzena disebabkan pori-pori pada permukaan arang aktif masih banyak mengandung senyawa non karbon sehingga gas atau uap yang diserap lebih sedikit (Pari 1996) dan permukaan arang aktif ditutupi oleh senyawa yang bersifat polar seperti fenol, aldehyd dan karboksilat dari hasil karbonisasi yang kurang sempurna (Pujiarti & Sutapa 2005).

Daya serap terhadap iodium

Nilai daya serap arang aktif terhadap iodium berhubungan dengan kemampuan arang aktif untuk menyerap larutan berwarna dengan ukuran molekul kurang dari 10 Angstrom atau 1 nm. Daya serap terhadap iodium arang aktif dari batang gelam tingkat pancang, tiang dan pohon

berkisar antara 852,45-375,28 mg g⁻¹ (Tabel 4). Daya serap terhadap iodium tertinggi diperoleh dari arang aktif batang tingkat pohon dari lokasi A, sedangkan daya serap terhadap iodium terendah diperoleh dari arang aktif batang tingkat tiang dari lokasi A. Data analisis varian menunjukkan daya serap terhadap iodium yang dihasilkan dari perlakuan faktor A, faktor B dan interaksi tidak signifikan. Nilai daya serap arang aktif terhadap iodium yang diperoleh secara keseluruhan sudah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995 (≥ 750 mg g⁻¹), arang aktif pemurnian minyak makanan SNI 06-4262-1996 (≥ 1000 mg g⁻¹) dan arang aktif untuk air minum SNI 06-4253-1996 (≥ 1000 mg g⁻¹). Besarnya kemampuan daya serap arang aktif terhadap iodium disebabkan senyawa hidrokarbon yang tertinggal pada permukaan arang aktif terbuang pada waktu aktivasi, sehingga permukaan arang menjadi aktif (Pujiarti & Sutapa 2005). Hendra dan Pari (1999) menjelaskan besarnya daya serap karena antara ikatan C dan H terlepas dengan sempurna, sehingga terjadi pergeseran pelat karbon kristalit membentuk pori yang baru dan mengembangkan pori yang sudah terbentuk.

Daya serap terhadap metilena biru

Nilai daya serap arang aktif terhadap metilena biru berhubungan dengan kemampuan arang aktif untuk menyerap larutan berwarna dengan ukuran molekul 15 Angstrom atau 1,5 nm. Daya serap terhadap metilena biru arang aktif dari batang gelam tingkat pancang, tiang dan pohon pada Tabel 26 berkisar antara 128,65-34,25 mg g⁻¹ (Tabel 4). Daya serap terhadap metilena biru tertinggi diperoleh dari arang aktif batang tingkat pancang dari lokasi B, sedangkan daya serap terhadap biru metilen terendah diperoleh

dari arang aktif batang tingkat Pohon dari lokasi B. Data analisis varian menunjukkan daya serap terhadap biru metilen yang dihasilkan dari perlakuan faktor A, faktor B dan interaksi tidak signifikan. Nilai daya serap arang aktif terhadap biru metilen yang diperoleh secara keseluruhan sudah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995 ($\geq 120 \text{ mg g}^{-1}$), arang aktif pemurnian minyak makanan SNI 06-4262-1996 ($\geq 110 \text{ mg g}^{-1}$) dan arang aktif untuk air minum SNI 06-4253-1996 ($\geq 130 \text{ mg g}^{-1}$) seperti tersaji pada Tabel 4. Kisaran nilai daya serap terhadap metilen memenuhi ketiga syarat SNI. di atas disebabkan senyawa hidrokarbon yang ada dalam arang aktif terbuang pada saat proses aktivasi sehingga arang menjadi lebih aktif dan membesarnya ukuran pori dan terbentuknya pori baru. Penelitian arang aktif dari kulit Acacia mangium bahwa daya serap terhadap biru metilen yang belum memenuhi standar disebabkan pada permukaan arang aktif masih terdapat senyawa hidrokarbon yang tertinggal pada saat aktivasi (Pari *et al.* 2000). Selama proses aktivasi, pelat-pelat karbon kristalit yang tidak teratur mengalami pergeseran sehingga permukaan kristalit menjadi terbuka dan terbentuk pori yang lebih banyak. Pergeseran pelat karbon menghasilkan pori yang baru dan mengembangkan mikropori awal menjadi makropori (Pari *et al.* 2004)

Aplikasi arang aktif untuk meningkatkan kualitas air

Kualitas air semakin baik dengan perlakuan pencampuran arang aktif dari batang gelam ke dalam 3 sampel air yang diuji. Kualitas air sungai dari desa Anjir Kalampan (A) antara A0 dengan A1 dan A2 : warna tidak mengalami perubahan memenuhi standar, kekeruhan mengalami

perubahan semakin tinggi akibat ada serbuk arang yang tidak tersaring tetapi masih memenuhi standar, pH mengalami perubahan semakin tinggi tetapi belum memenuhi standar, kesadahan mengalami kenaikan tetapi masih memenuhi standar, besi mengalami perubahan semakin rendah memenuhi standar dan mangan mengalami perubahan semakin rendah memenuhi standar.

Kualitas air sungai dari desa Saka Mangkahai (B) antara B0 dengan B1 dan B2: warna mengalami perubahan semakin rendah memenuhi standar, kekeruhan mengalami perubahan semakin rendah memenuhi standar, pH mengalami perubahan semakin tinggi tetapi belum memenuhi standar, kesadahan mengalami kenaikan tetapi masih memenuhi standar, besi mengalami perubahan semakin rendah memenuhi standar dan mangan mengalami perubahan semakin rendah memenuhi standar.

Kualitas sumur bor dari kota Palangka Raya (C) antara C0 dengan C1 dan C2: warna relatif tidak mengalami perubahan memenuhi standar, kekeruhan mengalami perubahan semakin tinggi akibat ada serbuk arang yang tidak tersaring tetapi masih memenuhi standar, pH mengalami perubahan semakin tinggi memenuhi standar, kesadahan mengalami tidak mengalami perubahan memenuhi standar, besi tidak mengalami perubahan memenuhi standar dan mangan tidak mengalami perubahan memenuhi standar.

Sampel air sungai dari desa Anjir Kalampan dan Saka Mangkahai setelah pemberian arang aktif secara umum memenuhi syarat kecuali pH belum memenuhi syarat. Sampel air sumur bor dari kota Palangka Raya setelah pemberian arang aktif memenuhi standar air bersih (Departemen Kesehatan 1990). Untuk menaikkan pH air sungai dari desa

Anjir Kalampan dan Saka Mangkahai dapat ditambahkan bahan kimia. Said (2008) menjelaskan zat alkali yang dipakai dalam pengolahan air untuk mengatur pH atau menaikkan pH air yang rendah, yakni kapur mati (*slake lime*), soda abu dan $\text{Na}(\text{HCO}_3)$. Pembubuhan bubuk kapur dan soda abu dilakukan dengan cara kering dan basah. Cara basah dengan melarutkan dalam air dengan konsentrasi 5-10% untuk kapur dan 20-25% untuk soda abu.

Kesimpulan

Batang pohon gelam dari tempat tumbuh yang berbeda dan tingkat pertumbuhan pohon (pancang, tiang, pohon) dapat dijadikan bahan baku pembuatan arang aktif dengan aktivasi panas 900°C selama 3 jam, yang telah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis SNI 06-3730-1995, arang aktif untuk pemurnian minyak makanan SNI 06-4262-1996 dan arang aktif untuk air minum SNI 06-4253-1996 (kecuali daya serap terhadap benzena).

Rendemen arang aktif berkisar antara 60,24-76,87%, kadar air 2,15-6,70%, kadar zat mudah menguap 20,55-38,10%, kadar abu 2,50-3,85%, kadar karbon terikat 53,65-77,50%, daya serap terhadap uap 3,25-10,62%, daya serap terhadap iodium 852,45-1375,28 mg g^{-1} dan daya serap terhadap biru metilen 128,65-34,25 mg g^{-1} .

Kualitas arang aktif terbaik yang dihasilkan adalah arang aktif dari kayu gelam yang diambil dari batang tingkat pohon. Secara umum air sumur bor dan air sungai dengan perlakuan arang aktif telah memenuhi standar air bersih (Departemen Kesehatan 1990), kecuali nilai pH.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Daerah provinsi Kalimantan

Tengah yang telah memberi bantuan dana untuk membiayai kegiatan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [ASTM] American Standard for Testing Material. 2005. Annual Book of ASTM Standards. Section 5 *Petroleum Products, Lubbricant and Fossil Fuels*. Volume 05.06. Gaseous Fuels ; Coal and Coke. West Conshohocken: ASTM International.
- Bansal RC, Donnet JP, Stoeckli F. 1988. *Active Carbon*. New York : Marcel Dekker Inc.
- [BPDAS] Balai Penelitian Daerah Aliran Sungai Kahayan. 2007. *Penyusunan Rencana Rehabilitasi Hutan dan Lahan 5 (Lima) Tahun Areal Eks PLG Di Wilayah Kerja BPDAS Kahayan (Tahun 2008-2012)*. Palangka Raya: BPDAS.
- Chokkalingam U, Suyanto RP, Permana I, Kurniawan J, Mannes, Darmawan A, Khususyiah N, Susanto RH. 2004. Pengelolaan Api, Perubahan Sumberdaya Alam dan Pengaruhnya terhadap Kehidupan Masyarakat di Areal Rawa / Gambut – Sumatera Bagian Selatan. *Prosiding Semiloka. Center for International Forestry Research*. Jakarta, hlm. 38-39.
- [Dephut] Departemen Kehutanan. 2007. *Rencana Induk (Master Plan) Rehabilitasi dan Konservasi Kawasan Pengembangan Lahan Gambut di Provinsi Kalimantan Tengah*. Bogor : Badan Planologi Kehutanan. Departemen Kehutanan.
- [Depkes] Departemen Kesehatan. 1990. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 416/Menkes/Per/IX/1990 tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air*. Jakarta:

- Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Hendra D, Pari G. 1999. Pembuatan Arang Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Bul. Penel. Hasil Hutan*. 17(2): 113-122.
- Hudaya N, Hartoyo. 1990. Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Biji-Bijian Asal Tanaman Hutan dan Perkebunan. *J Penel. Hasil Hutan*. 8(4): 146-149.
- Hudaya N, Hartoyo, Made W. 1989. *Hasil Destalasi Kering dan Nilai Kalor dari Beberapa Jenis Kayu Hutan Tanaman Industri*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Departemen Kehutanan.
- Pari G. 1996. Kualitas Arang Aktif dari 5 Jenis Kayu. *Bul. Penel. Hasil Hutan*. 14(2): 60-68.
- Pari G. 1999. Karakteristik Arang Aktif dari Serbuk Gergajian Sengon dengan Bahan Pengaktif NH_4CO_3 . *Bul. Penel. Hasil Hutan*. 17(2): 89-100.
- Pari G, Nurhayati T, Hartono. 2000. Kemungkinan Pemanfaatan *Acacia mangium* Willd untuk Pemurnian Minyak Kelapa Sawit. *Bul. Penel. Hasil Hutan*. 18(1): 40-53.
- Pari G. 2005. Arang Aktif Serbuk Gergaji sebagai Bahan Pemurni Minyak Goreng. *Prosiding Seminar Nasional MAPEKI VIII*, Tenggarong 3-5 September 2005. Kalimantan Timur.
- Pari G. 2004. Pengaruh Lama Aktivasi terhadap Struktur dan Mutu Arang Aktif Serbuk Gergaji Jati (*Tectona grandis* L.f). *J Teknol. Hasil Hutan* 17(3): 33-44.
- Perrich JR. 1981. *Activated Carbon Adsorption for Waste Treatment*. Florida: CRC Press Inc.
- Poniman A, Nurwadjedi, Suwahyuono. 2006. Penyediaan Informasi Spasial Lahan Basah untuk Mendukung Pembangunan Nasional. *Bakosurtanal. Forum Geografi* 2(2): 130-131.
- Pujiarti R, Sutapa JPG. 2005. Mutu Arang Aktif dari Limbah Kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) sebagai Bahan Penjernih Air. *J Ilmu Teknol. Kayu Trop*. 3(2) : 33-38.
- Rachmanady D, Lazuardi D, Tampubolon AP. 2003. *Teknik Persemaian dan Informasi Benih Gelam*. Yogyakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan.
- Said NI. 2008. *Teknologi Pengolahan Air Minum " Teori dan Pengalaman Praktis "*. Jakarta: Pusat Teknologi Lingkungan. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Seng OJ. 1990. *Berat Jenis dari Jenis-Jenis Kayu Indonesia dan Pengertian Beratnya Kayu untuk Keperluan Praktek*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 06-3730. 1995. *Arang Aktif Teknis*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 06-4253.1996. *Arang Aktif untuk Air Minum*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 06-4262.1996. *Arang Aktif untuk Pemurnian Minyak Makanan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sudradjat R. 1983. *Pengaruh Bahan Baku, Jenis Perekat dan Tekanan Kempa Terhadap Kualitas Briket Arang*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.

- Sudradjat R, Pari G. 2011. *Arang Aktif : Teknologi Pengolahan dan Masa Depan*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Suherman, Ikawati, Melati. 2009. Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong UKM Tapioka Kabupaten Pati. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia : SPP11-1- P11-5*.
- Sujarwo W. 2007. Pengaruh Lama dan Suhu Aktivasi terhadap Kualitas dan Struktur Kimia Arang Aktif dari Bagasse (Ampas Tebu) untuk Peningkatan Kualitas Air Konsumsi di Kecamatan Geyer Grobogan. [Tesis]. Yogyakarta: Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.
- Suyanto S, Applegate G, Tacconi L. 2004. *Community-Based Fire Management. Land Tenure and Conflict: Insights from Sumatera, Indonesia*. Bogor: Center for International Forestry Research.
- Riwayat naskah (*article history*)
- Naskah masuk (*received*): 12 Maret 2010
Diterima (*accepted*): 6 Mei 2010