

Pemanfaatan Scrap Besi menjadi Copperas dan Ekstrak Kulit Rambut untuk Pembuatan Nanopartikel Besi yang Ramah Lingkungan

Sunardi^{1*}, Mardiyono², Nur Hidayati³

¹Program Studi Analis Kimia, Fakultas Teknik Universitas Setia Budi ;

²Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi Universitas Setia Budi

³Program Studi Analis Kesehatan, Fakultas Ilmu kesehatan Universitas Setia Budi

ABSTRAK

Dalam beberapa tahun terakhir, pembuatan nanopartikel besi telah menjadi perhatian karena efisiensinya pada penghilangan beberapa jenis zat pencemar. Zat-zat pencemar yang dapat diolah dengan nanopartikel besi antara lain senyawa azo, pelarut terklorinasi, pestisida terklorinasi, anion anorganik dan logam transisi, polutan organik dan anorganik, logam berat, nitrat, bromida, arsen, kromium, timbal, antibiotik, dan pewarna. Pada umumnya, pembuatan nanopartikel besi dilakukan dengan mereduksi besi bermuatan tiga/dua dengan natrium tetra borana, NaBH₄. Pembuatan nanopartikel besi menggunakan NaBH₄ menghasilkan produk samping berupa asam borat yang beracun dan gas hidrogen yang mudah meledak atau terbakar. Penelitian ini bertujuan membuat nanopartikel besi dengan memanfaatkan limbah scrap besi menjadi copperas kemudian mereaksikan dengan ekstrak kulit rambutan. Metode yang dilakukan adalah mereaksikan scrap besi dengan asam sulfat sampai terbentuk copperas yang berwarna biru kehijauan. Copperas yang dihasilkan dibuat menjadi larutan kemudian direaksikan dengan ekstrak kulit rambutan. Larutan hitam yang dihasilkan dikarakterisasi dengan Spektrofotometri UV-Vis dan TEM. Larutan berwarna hitam dikeringkan dengan cara *spray drying* kemudian serbuk nanopartikel besi dikarakterisasi dengan XRD, FTIR, dan SEM-EDX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *scrap* besi dapat dibuat menjadi copperas dengan kadar Fe 22,09%. Ekstrak kulit rambutan mengandung kadar fenol total $877,39 \pm 16,6$ ppm/100 g kulit rambutan atau setara dengan 441,42 mg GAE/100 g kulit rambutan. Nanopartikel besi berhasil dibuat dari copperas dari scrap besi dan ekstrak kulit rambutan yang mempunyai karakter *Surface Plasmon Resonance* (SPR) pada serapan 214 nm, ukuran partikel 5-20 nm dalam bentuk larutan dan 20-70 nm dalam bentuk serbuk. Hasil ini bisa menjadi alternatif produksi nanopartikel besi suatu material bermanfaat untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan.

Kata kunci: Scrap besi, ekstrak kulit rambutan, nanopartikel besi, ramah lingkungan.

ABSTRACT

In recent years, the manufacture of iron nanoparticles has become a concern because of its efficiency in removing several types of contaminants. Pollutants that can be treated with iron nanoparticles include azo compounds, chlorinated solvents, chlorinated pesticides, inorganic anions and transition metals, organic and inorganic pollutants, heavy metals, nitrates, bromides, arsenic, chromium, lead, antibiotics, and dyes. In general, the manufacture of iron nanoparticles is carried out by reducing three/two charged iron with sodium tetra borane, NaBH₄. The manufacture of iron nanoparticles using NaBH₄ produces toxic by-products in the form of boric acid and hydrogen gas which is flammable or explosive. This study aims to make iron nanoparticles by utilizing scrap iron waste into copperas then reacting it with rambutan peel extract. The method used is to react iron scrap with sulfuric acid to form copperas which is blue-green in color. The resulting copperas were made into a solution and then treated with rambutan peel extract. The resulting black solution was characterized by UV-Vis Spectrophotometry and TEM. The black solution was dried by spray drying and then the powdered iron nanoparticles were characterized by XRD, FTIR, and SEM-EDX. The results showed that iron scrap can be synthesized into ferrous sulfate with 22.09% Fe content. Rambutan peel extract contains a total phenol content of 877.39 ± 16.6 ppm/100 g rambutan peel or equivalent to 441.42 mg GAE/100 g rambutan peel. Iron nanoparticles were successfully made from copperas from iron scrap and rambutan peel extract with the characteristics of having Surface Plasmon Resonance (SPR) at an absorption of 214 nm, particle size of 5-20 nm in solution form and 20-70 nm in powder form. This result can be an alternative for the production of iron nanoparticles, a useful material to prevent environmental pollution.

Keywords: Iron scrap, Rambutan peel extracts, Iron nanoparticles, Ecofriendly

Citation: Sunardi, S., Mardiyono, M. dan Hidayati, N (2022). Pemanfaatan Scrap Besi menjadi Copperas dan Ekstrak Kulit Rambut untuk Pembuatan Nanopartikel Besi yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 494-507, doi:10.14710/jil.20.3.494-507

* Penulis korespondensi: sunardi@setiabudi.ac.id

1. Pendahuluan

Beberapa tahun terakhir ini, penelitian nanopartikel besi mendapatkan minat yang besar. Hal ini disebabkan nanopartikel merupakan material penting untuk mengatasi pencemaran lingkungan. Penggunaan nanopartikel besi sangat luas termasuk diantaranya untuk pengolahan air, air limbah, sumur, tanah, sedimen dan aliran gas (Machado *et al.*, 2013). Teknologi penggunaan nanopartikel besi memberikan potensi keuntungan dibandingkan metode konvensional karena sifat fisika-kimia yang unik, non toksik, dan ekonomis (Etemadi *et al.*, 2017; Poguberović *et al.*, 2016; Fazlzadeh *et al.*, 2016; Ravikumar *et al.*, 2016). Keuntungan utama dari teknik ini adalah relatif sederhana dengan hanya menggunakan dua reagen dan tidak perlu peralatan khusus. Selain itu, karena ukuran nano yang dapat disuntikkan dan diangkut secara efektif ke dalam air tanah dan akuifer tercemar dalam pengolahan *in situ* (Madhavi *et al.*, 2013; Chang *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2017). Bahan pencemar yang dapat diremediasi nanopartikel besi antara lain senyawa azo, pelarut teroksidasi, pestisida teroksidasi, anion anorganik dan logam transisi (Crane & Scott, 2012), polutan organik dan anorganik (Shahwan *et al.*, 2011), logam berat (Li *et al.*, 2017; Yuan *et al.*, 2016), nitrat (Wang *et al.*, 2014), bromide (Xu *et al.*, 2015), arsen (Prasad *et al.*, 2014; Poguberović *et al.*, 2016), Cr(VI) (Chen *et al.*, 2015; Jiao *et al.*, 2015; Ravikumar *et al.*, 2016; Poguberović *et al.*, 2016; Sheng *et al.*, 2016), timbal (Kumari *et al.*, 2015), antibiotik (Fazlzadeh and Bhatnagar, 2017), dan pewarna (Fujioka *et al.*, 2016). Nanopartikel besi juga digunakan dalam bidang kosmetik, biomedisin, bioremediasi, material klinik dan teknik (Harshiny *et al.*, 2015). Hal ini dikarenakan nanopartikel besi mempunyai unik seperti ukuran partikel yang kecil, area permukaan yang luas sehingga sangat reaktif (Mystrioti *et al.*, 2016c; O'Carroll *et al.*, 2013), aktivitas katalitik dan optik, elektronik dan antibakteri (Harshiny, *et al.*, 2015; Kokila *et al.*, 2015; Saif *et al.*, 2016).

Produksi nanopartikel secara umum dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu pendekatan *top down* dan pendekatan *bottom up*. Pendekatan *top down* adalah memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nanometer. Pendekatan *bottom up* adalah memulai dari atom-atom atau molekul-molekul atau kluster-kluster yang direkayasa membentuk partikel berukuran nanometer yang dikehendaki (Devatha *et al.*, 2016; Saif *et al.*, 2016). Sintesis nZVI dengan pendekatan *top-down* mencakup produksi nanopartikel dengan metode fisik, dekomposisi termal, sintesis sonokimia, dan sputtering vakum. Metode ini memiliki beberapa keterbatasan yaitu tingkat produksi rendah, suhu dan tekanan tinggi atau kebutuhan energi tinggi, sehingga relatif mahal (Mo *et al.*, 2015; Devatha *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2017).

Produksi nanopartikel besi dengan pendekatan *bottom up* mencakup metode produksi tradisional. Beberapa metode tradisional pembuatan nanopartikel besi antara lain kopresipitasi (Petcharoen & Sirivat, 2012; Yoon *et al.*, 2014), metode hidrotermal (Giri *et al.*, 2005), dan hidrolisis (Tsang *et al.*, 2006). Pada umumnya, pembuatan nanopartikel besi dilakukan dengan mereduksi besi bervalensi tiga/dua (Fe^{3+}/Fe^{2+}) dengan natrium tetra borana ($NaBH_4$) (Prasad *et al.*, 2014). Pembuatan nanopartikel besi menggunakan $NaBH_4$ menghasilkan produk samping berupa asam borat yang beracun dan gas H_2 yang mudah meledak dan terbakar (Ahamed *et al.*, 2016; Devatha *et al.*, 2016; Saif *et al.*, 2016).

Sementara itu, kegiatan praktik mesin bubut menghasilkan limbah berupa serpihan-serpihan (*scrap*). Limbah padat dari bengkel bubut selama ini kebanyakan dimanfaatkan untuk besi daur ulang dengan nilai ekonomi yang sangat rendah. Serbuk besi dari bengkel bubut yang berukuran sangat kecil biasanya tidak dimanfaatkan lagi, dibuang secara langsung dan hal ini menyebabkan pencemaran lingkungan. Sebenarnya, di dalam limbah masih terdapat kandungan bahan berharga yang apabila didaur ulang dapat memberikan laba ekonomis yaitu dengan prinsip *reuse, recycle* dan *recovery*. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, limbah besi bengkel bubut dapat disintesis menjadi copperas berkadar 99%. Kadar copperas tersebut memenuhi syarat mutu yang ditetapkan dalam SNI 06-4888-1998 dan syarat mutu yang ditetapkan dalam Farmakope Indonesia Edisi IV (Sunardi, 2009). Di sisi lain, kulit buah rambutan yang merupakan limbah yang dibuang begitu saja. Kulit rambutan mengandung senyawa bioaktif seperti polifenol (Thitilertdecha *et al.*, 2010; Thitilertdecha and Rakariyatham, 2011; Yuvakkumar *et al.*, 2014, 2015; Anouar *et al.*, 2015; Karnan and Selvakumar, 2016; Karnan *et al.*, 2016; Zhuang *et al.*, 2017; Mendez-Flores *et al.*, 2018; Isacfranklin *et al.*, 2020). Polifenol merupakan senyawa yang mampu mereduksi Fe^{2+} menjadi Fe^0 (Solimanzadeh *et al.*, 2016; Wei *et al.*, 2016; Leili *et al.*, 2018). Jumlah kulit rambutan sekitar 18-33% dari seluruh buah dan merupakan produk limbah merupakan bahan potensial sebagai sumber polifenol (Thitilertdecha *et al.*, 2008; Thitilertdecha *et al.*, 2010; Karnan and Selvakumar, 2016; Kumar *et al.*, 2016) yang dapat digunakan untuk pembuatan nanopartikel besi yang ramah lingkungan. Kandungan polifenol pada ekstrak kulit rambutan diperkirakan mampu mereduksi Fe^{2+} dari copperas menjadi nano partikel besi. Tujuan umum penelitian ini adalah membuat nanopartikel besi dan mengkarakterisasi sifat-sifatnya. Tujuan umum tersebut dapat dicapai dengan menjawab tujuan khusus yaitu, 1) menentukan kadar copperas dari scrap besi, 2) menentukan kadar fenol total ekstrak kulit rambutan, dan 3) mengkarakterisasi nanopartikel besi berbasis dasar copperas dari scrap besi dan ekstrak kulit rambutan.

2. Metode

2.1. Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *scrap* besi diambil dari SMK Mikael Solo. Rambutan dibeli dari pasar buah. Sampel nanopartikel besi diperoleh dengan cara mereaksikan *copperas* dari *scrap* besi dengan ekstrak kulit rambutan. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah : Fourier Transform Infra Red (FTIR, Nicolet 6700, USA), X-Ray Diffraction (XRD) Shimadzu type 600, Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1650pc Spectrophotometer), Scanning Electron Microscope-Electron Dispersive x-Ray Spectroscopy (SEM-EDS) merek Shimadzu type 600, Transmission Electron Microscopy (TEM) JEOL JEM 1400.

2.2. Pembuatan dan penetapan kadar *copperas* dari *scrap* besi

Pembuatan *copperas* dari *scrap* besi bengkel bubuk dilakukan sebagai berikut: *Scrap* besi yang telah bersih kurang lebih sebanyak 25 g direaksikan dengan asam sulfat 25% sebanyak 100 mL dalam erlenmeyer. Larutan disaring kemudian dimasukkan dalam lemari es selama 24 jam. Kristal *copperas* yang terbentuk disaring dengan pompa vakum kemudian dicuci dengan alkohol. Kristal yang terbentuk dikeringkan dalam desikator. Penetapan dilakukan dengan Spektroskopi Uv-Vis. *Copperas* yang dihasilkan ditimbang $\pm 0,3$ g dilarutkan di labu takar 500 mL dengan menggunakan akuades sampai tanda batas. Larutan sebanyak 10 mL dimasukkan ke labu takar 250 mL kemudian menambahkan akuades hingga tanda batas. Larutan sebanyak 10 mL dimasukkan ke labu takar 100 mL kemudian ditambah 1 mL hidrosilamin, 10 mL buffer asetat pH 4 dan 2 mL fenantrolin. Larutan dibaca absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum, 470 nm.

2.3. Pembuatan ekstrak kulit rambutan (EKR) dan penetapan kadar fenol total

Pembuatan EKR sebagai sumber polifenol menggunakan metode yang dilakukan Kokila *et al.*

2015, dan Bankar *et al.* 2010. Kulit rambutan sebanyak 100 g dipotong kecil-kecil dengan ukuran $\pm 0,5$ cm dan direbus dalam *aquades* selama 90 menit dengan suhu $\pm 80^{\circ}\text{C}$. Perbandingan massa kulit rambutan dengan massa air adalah 1:3. Filtrat disaring dengan kain saring, kemudian dengan kertas whatman no. 1 pada filtrasi vakum. Uji kualitatif untuk fenol dilakukan dengan melihat adanya gugus OH menggunakan FTIR pada $3200-3550\text{ cm}^{-1}$ (Bankar *et al.*, 2010; Kokila *et al.*, 2015).

2.4 Pembuatan dan karakterisasi nanopartikel besi

Pembuatan nanopartikel besi dilakukan dengan menggunakan *copperas* dari *scrap* besi dan ekstrak kulit rambutan. Untuk Pembuatan nanopartikel besi, larutan *copperas* yang digunakan adalah 5 ml 0,001 M ditambahkan pada 5 ml EKR. Reaksi dilakukan dengan pengadukan konstan dan pada temperatur kamar selama 5 menit (Anouar *et al.*, 2015). Terbentuknya larutan berwarna hitam mengindikasikan terbentuknya nZVI (Bankar, *et al.*, 2010; Hoag *et al.*, 2011; Shahwan *et al.*, 2011; Machado *et al.*, 2013; Ashouri *et al.*, 2014; Huang *et al.*, 2014; Noruzi and Mousivand, 2015; Harshiny *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2015; Anu and D.Vijay, 2016; Wei *et al.*, 2016; Fazlzadeh *et al.*, 2016; Ravikumar *et al.*, 2016; Karnan and Selvakumar, 2016).

Karakterisasi koloid nanopartikel besi dilakukan dengan Spektroskopi UV-Vis untuk mengetahui *surface plasmon resonance* (SPR) dan TEM. Koloid nZVI yang terbentuk dikeringkan dengan *spray drying*. Kristal yang terbentuk dikarakterisasi dengan XRD, FTIR, dan SEM-EDS.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pembuatan dan penetapan kadar *copperas*

Reaksi antara *scrap* besi dari bengkel bubuk dengan asam sulfat 25% menghasilkan kristal yang berwarna biru kehijauan sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1. Hasil penentuan kadar *copperas* dari *scrap* besi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometri Uv-Vis sebagaimana ditunjukkan Tabel 1.



Gambar 1 *Copperas* dari *scrap* besi

Tabel 1 Penetapan kadar copperas dari scrap besi

Penetapan Kadar	λ_{maks} (nm)	Absorbansi	[Fe ²⁺] (ppm)	Berat Fe ²⁺ (mg)	Kadar Fe ²⁺ (%)	Berat copperas (mg)	Kadar copperas (%)
1	510	0,096	0,47	59,10	19,73	294,21	98,23
2		0,097	0,48	59,77	19,94	297,53	99,27
Rata-rata (x)					19,84		98,75
Standar deviasi (s)					0,15		0,74

Tabel 2 Kandungan Total Fenol EKR

Penetapan Kadar	λ_{maks} (nm)	Absorbansi	Konsentrasi total fenol (ppm)	Kadar fenol total (ppm)
1	765	0,435	35,5652	889,1304
2		0,425	34,6261	865,6521
Rata-rata (x)				877,3913
Standar deviasi (s)				16,6

Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata kadar Fe²⁺ dalam copperas adalah 19,84 ± 0,15% sedangkan rata-rata kadar copperas dari scrap besi adalah 98,75 ± 0,74%. Hal ini menunjukkan bahwa copperas hasil sintesis dari scrap besi bengkel bubuk memenuhi syarat mutu copperas SNI 06-4888-1998 yang mensyaratkan kandungan Fe minimal 19 %.

2.2. Penetapan total fenol ekstrak kulit rambutan

Hasil penetapan kadar total polifenol EKR ditunjukkan oleh Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata kandungan fenol total adalah 877,39 ± 16,6 ppm/100 g kulit rambutan. Jadi kadar polifenol total dalam EKR adalah 877,39 ± 16,6 ppm.

Konsentrasi fenol total dalam ekstrak selanjutnya digunakan untuk perhitungan konsentrasi karbon organik ekuivalen dalam ekstrak, OC (GAE), dalam mg C/l, dengan mempertimbangkan adanya atom karbon di setiap molekul asam galat, sesuai dengan persamaan berikut:

$$OC (GAE) = \left[\frac{TPC}{M} \right] \times 7 \times 12 \text{ g/mol}$$

keterangan:

TPC : *Total Phenolic Content* (konsentrasi polifenol total) (mg GAE / l)

M : berat molekul asam galat (C₇H₆O₅), sama dengan 170,12 g/mol

7 : jumlah atom karbon dalam masing-masing molekul asam galat

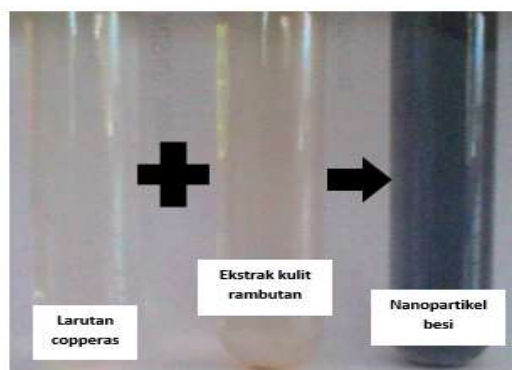
12 g/mol: Berat atom karbon

(Mystrioti *et al*, 2016).

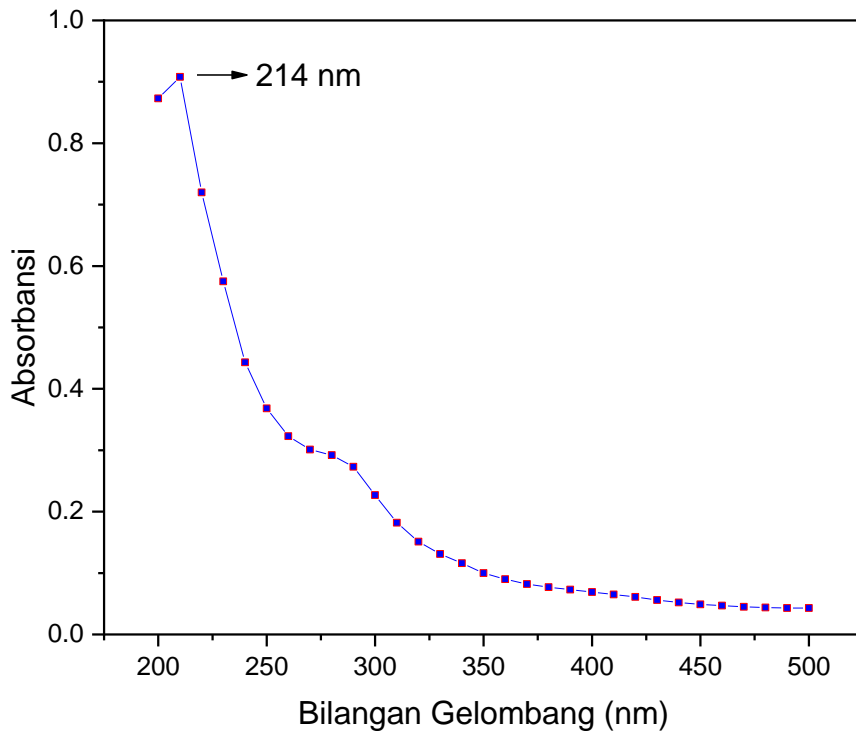
Berdasarkan hasil perhitungan maka kadar fenol total dalam ekstrak kulit rambutan adalah 441,42 mg GAE/100 g kulit rambutan.

2.3. Pembuatan dan karakterisasi nanopartikel besi

Reaksi antara ekstrak kulit rambutan dengan larutan copperas hasil sintesis menghasilkan larutan yang berwarna hitam sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2 Reaksi antara larutan copperas dengan Ekstrak kulit rambutan menghasilkan nanopartikel besi



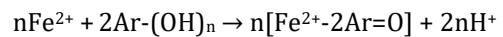
Gambar 3 Spektra UV-Vis SPR nanopartikel besi Hasil Reaksi dari copperas dengan EKR

Ketika EKR direaksikan dengan larutan copperas, warna larutan berubah dengan cepat dari coklat menjadi hitam dan terbentuk endapan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Peristiwa yang sama juga terjadi pada reaksi ekstrak kulit jeruk dengan FeCl₃ (Wei *et al.*, 2016), ekstrak teh hijau, cengkeh, tanaman mint, delima dan anggur merah dengan FeCl₃ (Mystrioti *et al.*, 2015) dan daun nimba dengan FeSO₄·7H₂O (Ravikumar *et al.*, 2016). Hal ini menunjukkan telah terjadi reaksi antara ion Fe²⁺ dari copperas dengan polifenol dari EKR membentuk nanopartikel besi.

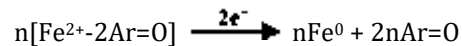
Terbentuknya nanopartikel besi dari ekstrak kulit rambutan juga dapat dibuktikan dengan mengamati terbentuknya SPR (*Surface Plasmon Resonance*). SPR merupakan fenomena resonansi antara gelombang cahaya tampak dan elektron-elektron pada permukaan logam yang menghasilkan osilasi elektron-elektron di permukaan logam yang terkuantisasi (Hou and Cronin, 2013; Jain *et al.*, 2009). Gambar 3 menunjukkan spektra hasil analisis absorpsi puncak SPR pada serapan 214 nm. Hasil ini mirip dengan penelitian yang sudah terpublikasikan pada serapan 216 nm (Pattanayak & Nayak, 2013), 211 nm (Ravikumar *et al.*, 2016) dan 214 nm (Harshiny *et al.*, 2015).

Menurut Nadagouda *et al.* (2010), pembentukan nanopartikel besi dengan polifenol melalui tahapan sebagai berikut: (1) pembentukan senyawa kompleks Fe, (2) reduksi simultan ion Fe²⁺, (3) pencegah oksidasi (*capping oxidized*). Jadi, mekanisme pembentukan nanopartikel besi dari ekstrak kulit rambutan adalah sebagai berikut:

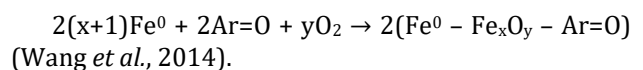
(1) Pembentukan senyawa kompleks



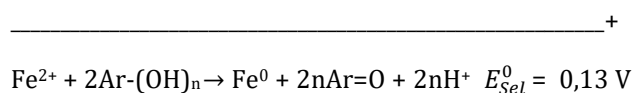
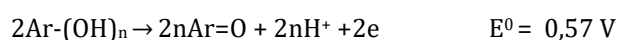
(2) Reduksi simultan Fe²⁺



(3) Pencegahan oksidasi



Tahap (1) dan (2) pada pembentukan nanopartikel besi, polifenol membentuk kompleks secara langsung dan kemudian mereduksi ion Fe²⁺ (valensi 2) menjadi Fe⁰ (valensi 0). Proses reaksi reduksi dan oksidasi tergantung pada potensial reduksi (E⁰) masing-masing reagen. Menurut Wang *et al.* (2017), polifenol mempunyai potensial reduksi 0,57 V cukup untuk mereduksi Fe²⁺ menjadi Fe⁰ yang mempunyai potensial reduksi -0,44 V.



Suatu reaksi dapat dikatakan spontan apabila memenuhi persyaratan termodinamika, yaitu energi bebas Gibbs-nya ($\Delta G^0 < 0$). Nilai ΔG^0 dapat ditentukan dari potensial standar sel dengan rumus:

$$\Delta G^0 = -nFE_{Sel}^0$$

keterangan:

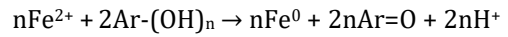
ΔG^0 : Energi bebas Gibbs

n : jumlah elektron yang terlibat

F : konstanta Faraday, 96500 C.mol⁻¹

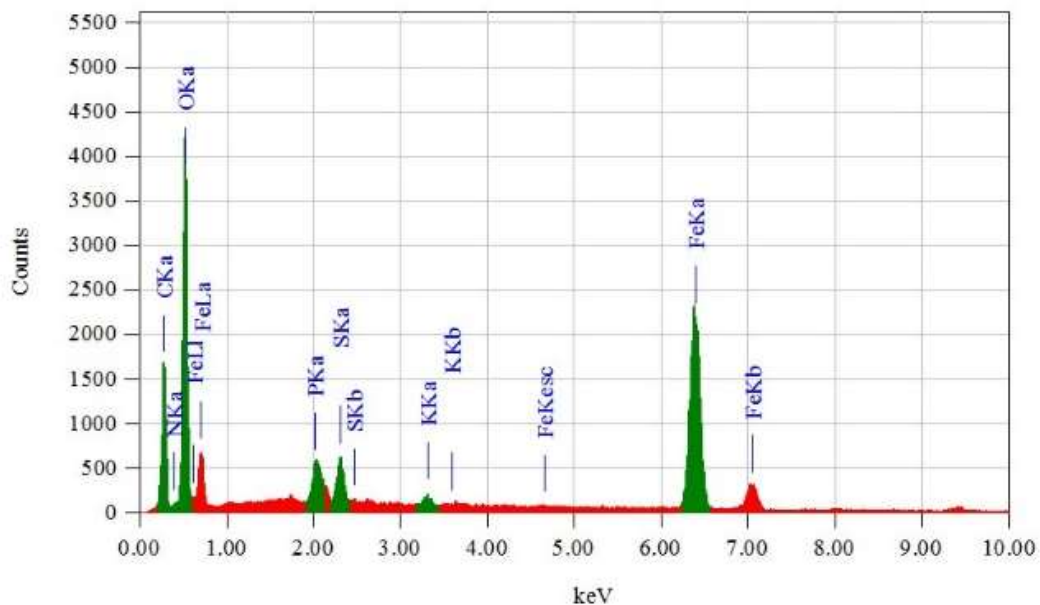
Jika suatu sel mempunyai harga E_{Sel}^0 positif, maka harga ΔG^0 akan negatif dan reaksinya spontan. Dengan demikian reaksi antara EKR dan ion Fe²⁺ berlangsung

secara spontan. Ini terlihat ketika larutan copperas dan EKR dicampurkan langsung terjadi reaksi pembentukan nano partikel besi (larutan berwarna hitam) sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 10. Secara umum, mekanisme reaksi sintesis nano partikel besi dengan polifenol adalah:



Ar adalah gugus fenil dan n adalah jumlah gugus OH yang mereduksi Fe²⁺ (Wang *et al.*, 2017; Mystrioti *et al.*, 2016).

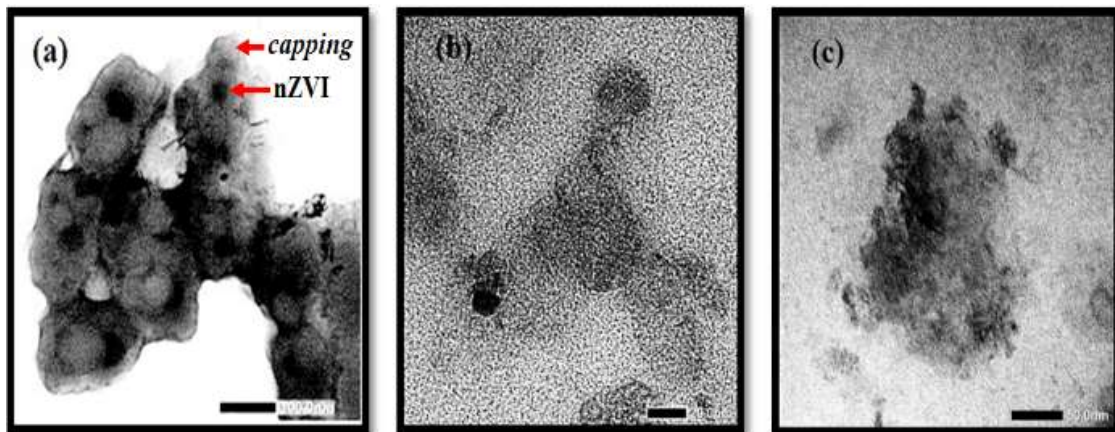
Pada tahap (3), dalam bentuk larutan EKR terjadi *capping* dan penstabilan oleh polifenol sehingga Fe⁰ tidak teroksidasi. Adanya *capping* yang mengandung unsur Fe, C dan O juga ditunjukkan oleh hasil analisis SEM-EDS (Gambar 4 dan Tabel 3).



Gambar 4 Spektrum EDS nanopartikel besi

Tabel 3 Hasil Uji Kandungan Unsur Kristal nanopartikel besi

Element	keV	Mass %	Sigma
C K	0,277	25,32	0,12
N K	0,392	7,68	0,17
O K	0,525	45,36	0,26
P K	2,013	0,63	0,02
S K	2,307	1,20	0,02
K K	3,312	0,17	0,01
Fe K	6,398	19,64	0,13
Total		100,00	



Gambar 5 Hasil Analisis TEM Sintesis nano partikel besi dari EKR

Pada Gambar 4 tampak puncak intens yang menunjukkan keberadaan Fe, C dan O. Unsur-unsur yang terlibat pada pembentukan nano partikel besi ditunjukkan pada Tabel 3, yaitu C (25,32%), N (7,68%), O (45,36%), P (0,63%), S(1,20%), K (0,17%) dan Fe (19,64%). Adanya unsur Fe, O dan C merupakan tanda yang menunjukkan nano partikel besi telah berhasil disintesis dari EKR. Hasil ini mirip dengan penelitian yang telah dipublikasikan Wang *et al.* (2017), Soliemanzadeh & Fekri (2017); Noruzi & Mousivand (2015), dan Ravikumar *et al.* (2016).

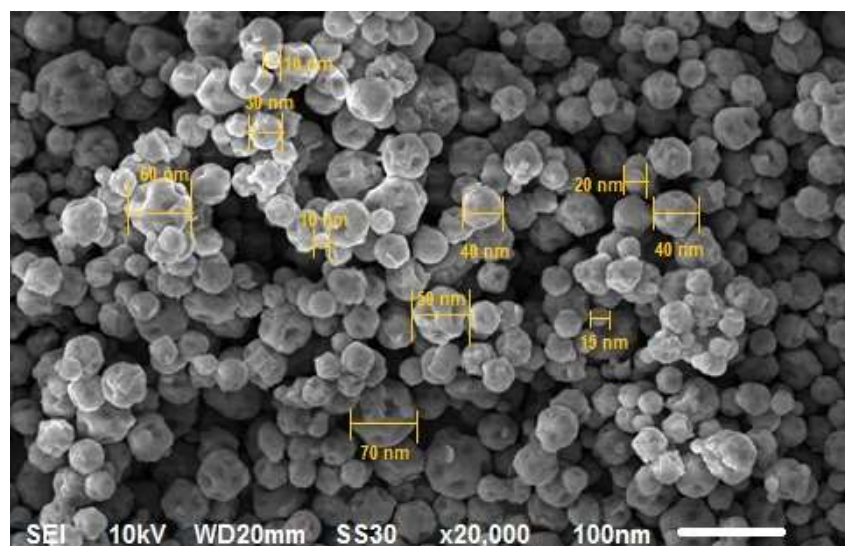
Hasil analisis TEM larutan nano partikel besi hasil sintesis dari EKR dan copperas hasil sintesis ditunjukkan oleh Gambar 5.

Gambar 5a menunjukkan adanya *capping* yaitu Fe^0 terlindungi polifenol sehingga menjadi stabil. Pada

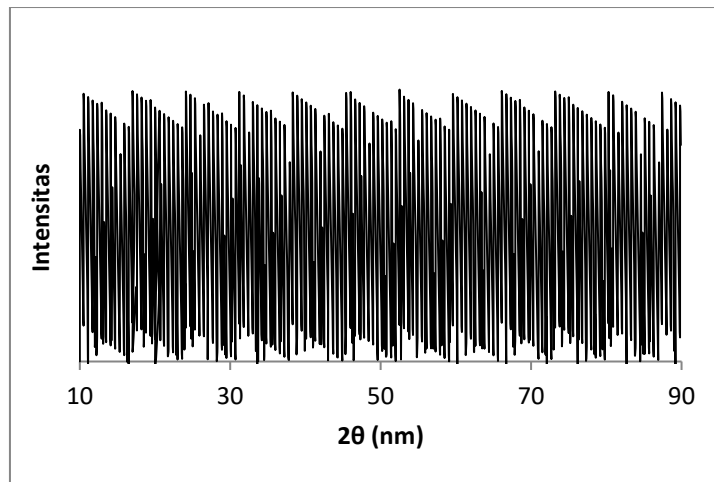
Gambar 5b dan c terlihat bahwa sebagian partikel nano partikel besi berbentuk bulat, tidak teraglomerasi dengan ukuran partikel antara 5-20 nm.

Hasil analisis SEM dalam bentuk padatan nano partikel besi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6 tampak bahwa sebagian besar partikel nano partikel besi berbentuk bulat dengan ukuran 10-70 nm. Hasil ini mirip dengan hasil penelitian yang dilakukan Machado *et al.* (2013), Poguberović *et al.* (2016) dan Wei *et al.* (2016). Ukuran partikel yang lebih kecil mempunyai permukaan yang lebih luas, lebih reaktif dan reaktivitas yang lebih tinggi.

Hasil analisis XRD nano partikel besi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6 Hasil Analisis SEM nano partikel besi



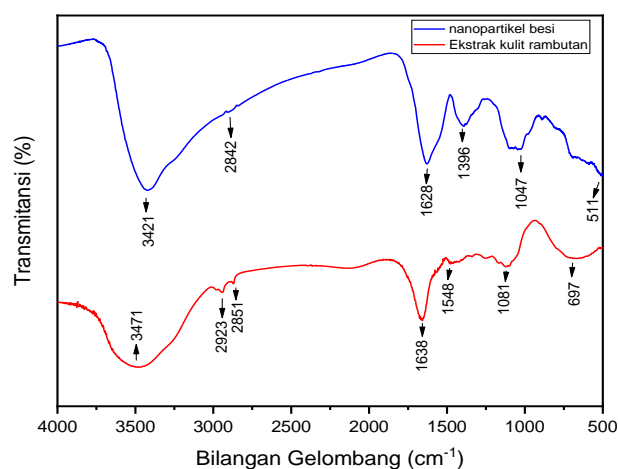
Gambar 7 Hasil Analisis XRD dari nano partikel besi

Gambar 7 menunjukkan bahwa sifat padatan nano partikel besi hasil sintesis berupa material amorf. Ini ditunjukkan hasil analisis XRD nano partikel besi yang tidak tampak adanya puncak difraksi. Bentuk serupa juga dilaporkan oleh Noruzi & Mousivand (2015) yang menggunakan ekstrak cemara kipas dan Shahwan *et al.* (2011) yang menggunakan ekstrak teh hijau dan ekstrak bekatul.

Reaksi antara Fe^{2+} dengan polifenol ditunjukkan pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan reaksi antara Fe^{2+} dengan polifenol ditandai oleh adanya serapan IR oleh gugus OH (fenol) pada daerah 3471 cm^{-1} . Pada daerah tersebut tampak adanya pergeseran puncak-puncak 3471 cm^{-1} ke 3388 cm^{-1} . Pergeseran dari 3471 ke 3388 cm^{-1} mengindikasikan keterlibatan gugus fungsional O-H. Pergeseran puncak dari 1.638 ke 1.628 cm^{-1} mengindikasikan bahwa C=C senyawa aromatik terlibat dalam proses sintesis nanopartikel. Adanya pergeseran puncak dari 1.466 ke 1.393 cm^{-1} mengindikasikan keterlibatan gugus karboksil dari EKR dalam sintesis nano partikel besi. Puncak pada

697 cm^{-1} sesuai dengan C-H peregangan senyawa aromatik.

Kulit rambutan terutama mengandung pektin, selulosa dan hemiselulosa serta polifenol (Padilla-camberos *et al.*, 2016; Sathya, 2014). Polimer-polimer ini, terutama polifenol mereduksi Fe^{2+} menjadi Fe^0 (Devatha *et al.*, 2016; Kokila *et al.*, 2015; Bankar *et al.*, 2010). Reaksi antara EKR dan larutan copperas berlangsung spontan menghasilkan suatu padatan yang berwarna hitam. Ekstrak kulit rambutan mampu mereduksi Fe^{2+} menjadi Fe^0 tampak dari larutan yang berwarna coklat berubah menjadi hitam. Hasil karakterisasi nano partikel besi menunjukkan senyawa tersebut mengandung unsur Fe^0 yang sebagian besar berbentuk bulat dengan ukuran partikel 10-70 nm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa reaksi antara EKR dan larutan copperas menghasilkan nano partikel besi. Persentase berat Fe yang disintesis oleh EKR hanya 19,64%, namun penggunaan kulit rambutan dapat memberi nilai tambah ke limbah yang tidak digunakan dan yang bisa menyebabkan pencemaran lingkungan.

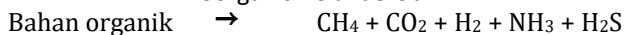


Gambar 8 Spektrum FTIR untuk nano partikel besi dan Ekstrak kulit rambutan

Aspek lingkungan sintesis nano partikel besi menggunakan copperas dari *scrap* besi dan ekstrak kulit rambutan adalah penggunaan bahan-bahan sisa yang berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan sebagai bahan dasar. *Scrap* besi merupakan serpihan-serpihan kecil besi yang berasal dari bengkel bubut (Suharno dkk., 2012). Selama ini *scrap* besi yang berukuran kecil dibuang begitu saja di lingkungan (Sunardi dkk., 2015; Sunardi, 2009). Pembuangan *scrap* besi ke lingkungan bisa menyebabkan pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran air (Rahayu dkk., 2017; Purwoto & Nugroho, 2013). Pemanfaatan *scrap* besi menjadi copperas sebagai prekursor sintesis nano partikel besi (Shaolin Li *et al.*, 2017; Taha & Ibrahim, 2014) dapat mencegah pencemaran air yang disebabkan oleh besi.

Kulit rambutan merupakan bahan sisa pada waktu mengkonsumsi buah rambutan. Selama ini kulit rambutan digunakan untuk pakan ternak atau dibuang begitu saja. Namun semakin banyak konsumsi buah rambutan tersebut semakin banyak kulit rambutan yang kurang termanfaatkan oleh sebagian besar masyarakat sehingga terjadi peningkatan sampah dilingkungan. Hal ini berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan yaitu bau busuk dan kotoran yang ditimbulkan. Bau busuk tersebut disebabkan penguraian dalam kondisi tanpa oksigen (anaerobik), material organik akan menjadi gas amoniak (NH₃), hidrogen sulfida (H₂S), metana (CH₄) dan senyawa lain yang lebih sederhana (Akbar, 2016). Proses pembentukan gas secara umum adalah sebagai berikut:

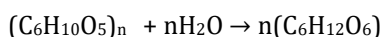
Mikroorganism anaerob



Penguraian kulit rambutan yang merupakan materi organik melalui tiga tahapan:

1. Tahap hidrolisis

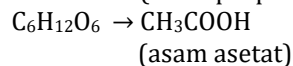
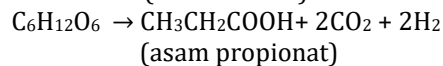
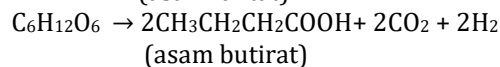
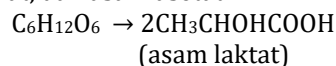
Tahap hidrolisis adalah penguraian bahan-bahan organik kompleks yang mudah larut atau senyawa rantai panjang seperti karbohidrat, lemak, dan protein menjadi senyawa yang lebih sederhana. Tahap ini juga didefinisikan perubahan polimer menjadi monomer. Senyawa monomer hasil penguraian diantaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO₂, dan hidrokarbon. Senyawa tersebut dimanfaatkan oleh bakteri yang melakukan fermentasi sebagai sumber karbon dan energi. Reaksinya adalah:



2. Tahap Pengasaman/Asidifikasi

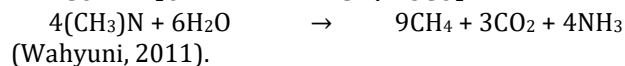
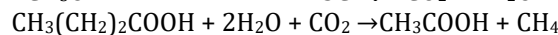
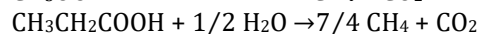
Senyawa monomer yang terbentuk dari tahap hidrolisis dijadikan sumber energi bagi bakteri pembentuk asam. Bakteri tersebut menghasilkan

senyawa asam, seperti asam laktat, asam butirat, asam propionat, dan asam asetat.



3. Tahap Metanogenesis

Bakteri metanogen seperti Methano, Methanococcus, dan Methanosarcina bacterium mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman menjadimetan, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas. Reaksi yang terjadi pada tahap metogenesis adalah sebagai berikut:



Selain bau busuk, kulit rambutan yang tidak dikelola dengan baik akan menjadi penyebab gangguan dan ketidak seimbangan lingkungan. Kulit rambutan merupakan sampah padat yang menumpuk ataupun yang berserakan menimbulkan kesan kotor dan kumuh, sehingga nilai estetika pemukiman dan kawasan di sekitar sampah terlihat sangat rendah. Selain itu, kulit rambutan itu bisa jadi sarang penyakit dan timbulnya lalat (Chandra, 2005). Pemanfaatan kulit rambutan sebagai sumber polifenol (Bankar *et al.*, 2010; Menezes *et al.*, 2011; Singhal & Ratra, 2013) dapat menghindari bau busuk dan timbulnya penyakit yang disebabkan kotoran dan lalat.

Sintesis nano partikel besi menggunakan ekstrak kulit rambutan merupakan sintesis yang ramah lingkungan, yaitu tidak menggunakan bahan kimia berbahaya atau toksik (Bankar *et al.*, 2010; Herlekar *et al.*, 2014; Varma, 2012). Kulit rambutan merupakan sumber polifenol dapat diekstraksi dengan air (Nagarajiah & Prakash, 2011). Penggunaan air untuk ekstraksi merupakan upaya menghindari penggunaan pelarut organik yang beracun dan mudah terbakar. Jadi penggunaan air mengurangi penggunaan pelarut yang berbahaya.

Polifenol yang terdapat dalam ekstrak kulit rambutan digunakan untuk mereduksi Fe²⁺ menjadi Fe⁰ (Fazlzadeh *et al.*, 2016; Wei *et al.*, 2016). Pada sintesis nano partikel besi secara tradisional menggunakan NaBH₄ untuk mereduksi Fe²⁺/Fe³⁺ menjadi Fe⁰. NaBH₄ merupakan bahan kimia berbahaya dan beracun (Wang *et al.*, 2017; Lu *et al.*,

2016). Bahaya yang ditimbulkan adalah sebagai sumber garam borat basa yang dapat bersifat korosif. Pada sintesis nano partikel besi yang ramah lingkungan ini NaBH_4 diganti ekstrak kulit rambutan yang mengandung polifenol yang tidak berbahaya dan beracun.

Sintesis nano partikel besi yang ramah lingkungan menggunakan ekstrak kulit rambutan tidak menghasilkan zat yang berbahaya dan beracun. Sedangkan pada sintesis nano partikel besi menggunakan NaBH_4 , menghasilkan asam borat, H_3BO_3 , gas hidrogen, H_2 dan gas diborana, B_2H_6 . Asam borat merupakan senyawa kimia yang beracun (Saif *et al.* 2016), sedangkan gas hidrogen dan diborana, yang keduanya mudah terbakar (Murguetio *et al.*, 2016; Kalyan Kamal *et al.*, 2014; Thenmozhi *et al.*, 2014).

Berdasarkan uraian diatas, penggunaan kulit rambutan dan scrap besi sesuai dengan prinsip *Green chemistry*/ramah lingkungan yaitu;

- a) minimalisasi limbah,
- b) mengurangi penggunaan bahan kimia toksik,
- c) menambah upaya pemakaian pelarut dan bahan kimia lain yang non toksik.

Nanopartikel besi telah menjadi pilihan yang semakin banyak digunakan untuk penanganan limbah berbahaya dan beracun, dan untuk remediasi situs yang tercemar (Shu *et al.*, 2010; El-Temsah *et al.*, 2013; Tosco *et al.*, 2014; Bruton *et al.*, 2015; Lacina *et al.*, 2015; El-Temsah *et al.*, 2016). Penelitian-penelitian lain juga menunjukkan bahwa nanopartikel yang dibuat dari tanaman (biosintesis) aman bagi lingkungan dan manusia (Saif *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2017; Bhuvaneshwari *et al.*, 2017).

4. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah kadar copperas yang dihasilkan dari *scrap* besi bengkel bubut mempunyai kadar Fe 22,08%. Hasil tersebut memenuhi standar SNI 06-4888-1998 tentang syarat mutu copperas dengan kadar Fe minimal 19%. Ekstrak kulit rambutan mengandung senyawa fenol dengan kadar total fenol $877,39 \pm 16,6$ ppm/100 g kulit pisang. Hasil ini setara dengan 441,42 mg GAE/100 g kulit rambutan. Karakteristik nanopartikel besi yang dihasilkan dari reaksi ekstrak kulit rambutan dengan copperas dari *scrap* besi bengkel bubut rata-rata berbentuk bulat dengan ukuran 5-20 nm dalam bentuk koloid dan berukuran 10-70 nm dalam bentuk padatan. Pembuatan nanopartikel besi menggunakan copperas dari *scrap* besi dan ekstrak kulit rambutan memberikan dampak positif untuk lingkungan. Nanopartikel besi yang dibuat dari ekstrak tanaman (biosintesis) aman bagi lingkungan dan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

Ahamed, I. N., Anbu, S., Vikraman, G., Nasreen, S., Muthukumari, M., & Kumar, M. M. (2016). Green Synthesis of Nano Zerovalent Iron Particles (NZVI) for

Environmental Remediation. *Life Science Archives*, 2(3), 549-554.

Akbar, R. A. (2016). Pengaruh paparan CH_4 dan H_2S terhadap keluhan gangguan pernafasan pemulung di TPA Mrican Kabupaten Ponorogo. *Journal of Industrial Hygiene and Occupational Health*, 1(1), 1.

Anouar, E. H., Gierschner, J., Duroux, J.-L., & Trouillas, P. (2015). UV / Visible spectra of natural polyphenols : A time-dependent density functional theory study. *Food Chemistry*, 131(1), 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.034>

Anu, Y., & D.Vijay, M. (2016). Camellia sinensis mediated synthesis of Iron nanoparticles and its encapsulation for decolorization of dyes. *Biochemistry An Indian Journal*, 10(1), 20-29.

Ashouri, A., Anvaripour, B., Motavassel, M., & Jaafarzadeh Haghhighifard, N. (2014). Arsenate Removal from Water by Simultaneous Green Tea Nano-Zerovalent Iron and Ultrasonic Wave. *ISRN Chemical Engineering*, 2014, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2014/457868>

Bankar, A., Joshi, B., Kumar, A. R., & Zinjarde, S. (2010). Banana peel extract mediated novel route for the synthesis of silver nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 368(1-3), 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2010.07.024>

Bhuvaneshwari, M., Kumar, D., Roy, R., Chakraborty, S., Parashar, A., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N., & Mukherjee, A. (2017). Toxicity, accumulation, and trophic transfer of chemically and biologically synthesized nano zero valent iron in a two species freshwater food chain. *Aquatic Toxicology*, 183, 63-75.

Bruton, T. A., Pycke, B. F. G., & Halden, R. U. (2015). Effect of Nanoscale Zero-Valent Iron Treatment on Biological Reductive Dechlorination: A Review of Current Understanding and Research Needs. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(11), 1148-1175.

Chandra, B. (2005). *Pengantar Kesehatan Lingkuagan* (1st ed.). Penerbit Buku Kedokteran EGC. <https://books.google.co.id/books?id=dOrH3zuDYdgC&pg=PA119&lpg=PA119&dq=PEMBENTUKAN+GAS+H2S,+METANA,+NH3+DARI+SAMPAH&source=bl&ots=S2YNUSjW3A&sig=vFeDtS3liqEUDs3kQdWfWfVjbn4&hl=id&sa=X&ved=0ahUKEwj98fPp8rzXAHUDNo8KHtTduAfaAQ6AEIjAA#v=onepage&q=PEMBENTUKAN%252>

Chang, D., Chen, T., Liu, H., Xi, Y., Qing, C., Xie, Q., & Frost, R. L. (2014). A new approach to prepare ZVI and its application in removal of Cr(VI) from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 244, 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.01.095>

Chen, T., Zhou, Z., Xu, S., Wang, H., & Lu, W. (2015). Adsorption behavior comparison of trivalent and hexavalent chromium on biochar derived from municipal sludge. *Bioresource Technology*, 190, 388-394. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415006495>

Crane, R. A., & Scott, T. B. (2012). Nanoscale zero-valent iron: Future prospects for an emerging water treatment technology. *Journal of Hazardous Materials*, 211-212, 112-125. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.11.073>

Devatha, C. P., Thalla, A. K., & Katte, S. Y. (2016). Green synthesis of iron nanoparticles using different leaf extracts for treatment of domestic waste water. *Journal*

- of *Cleaner Production*, 139, 1425–1435. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.019>
- El-Temseh, Y. S., Oughton, D. H., & Joner, E. J. (2013). Effects of nano-sized zero-valent iron on DDT degradation and residual toxicity in soil: A column experiment. *Plant and Soil*, 368(1–2), 189–200.
- El-Temseh, Y. S., Sevcu, A., Bobcikova, K., Cernik, M., & Joner, E. J. (2016). DDT degradation efficiency and ecotoxicological effects of two types of nano-sized zero-valent iron (nZVI) in water and soil. *Chemosphere*, 144, 2221–2228.
- Etemadi, M., Samadi, S., Yazd, S. S., Jafari, P., Yousefi, N., & Aliabadi, M. (2017). Selective adsorption of Cr(VI) ions from aqueous solutions using Cr⁶⁺-imprinted Pebax/chitosan/GO/APTES nanofibrous adsorbent. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95(December), 725–733. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.117>
- Fazlzadeh, M., Rahmani, K., Zarei, A., Abdoallahzadeh, H., Nasiri, F., & Khosravi, R. (2016). A novel green synthesis of zero valent iron nanoparticles (NZVI) using three plant extracts and their efficient application for removal of Cr(VI) from aqueous solutions. *Advanced Powder Technology*, 28(1), 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2016.09.003>
- Fujioka, N., Suzuki, M., Kurosu, S., & Kawase, Y. (2016). Linkage of iron elution and dissolved oxygen consumption with removal of organic pollutants by nanoscale zero-valent iron: Effects of pH on iron dissolution and formation of iron oxide/hydroxide layer. *Chemosphere*, 144, 1738–1746. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.064>
- Giri, S., Samanta, S., Maji, S., Ganguli, S., & Bhaumik, A. (2005). Magnetic properties of α -Fe₂O₃ nanoparticle synthesized by a new hydrothermal method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 285(1–2), 296–302. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2004.08.007>
- Harshiny, M., Iswarya, C. N., & Matheswaran, M. (2015). Biogenic synthesis of iron nanoparticles using *Amaranthus dubius* leaf extract as a reducing agent. *Powder Technology*, 286, 744–749. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.09.021>
- Herlekar, M., Barve, S., & Kumar, R. (2014). Plant-Mediated Green Synthesis of Iron Nanoparticles. *Journal of Nanoparticles*, 2014(October). <https://doi.org/10.1155/2014/140614>
- Hoag, G. E., Collins, J. B., Varma, R. S., & Nadagouda, M. N. (2011). GREEN SYNTHESIS OF NANOMETALS USING PLANT EXTRACTS AND USE THEREOF. <https://doi.org/10.1016/j.j.73>
- Hou, W., & Cronin, S. B. (2013). A review of surface plasmon resonance-enhanced photocatalysis. *Advanced Functional Materials*, 23(13), 1612–1619. <https://doi.org/10.1002/adfm.201202148>
- Huang, L., Weng, X., Chen, Z., Megharaj, M., & Naidu, R. (2014). Green synthesis of iron nanoparticles by various tea extracts: Comparative study of the reactivity. *SPECTROCHIMICA ACTA PART A: MOLECULAR AND BIOMOLECULAR SPECTROSCOPY*, 130, 295–301. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.04.037>
- Isacfranklin, M., Dawoud, T., Ameen, F., Ravi, G., Yuvakkumar, R., Kumar, P., Hong, S. I., Velauthapillai, D., & Saravanakumar, B. (2020). Synthesis of highly active biocompatible ZrO₂ nanorods using a bioextract. *Ceramics International*, 46(16), 25915–25920. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.07.076>
- Jain, P. K., Xiao, Y., Walsworth, R., & Cohen, A. E. (2009). Surface plasmon resonance enhanced magneto-optics (SuPREMO): Faraday rotation enhancement in gold-coated iron oxide nanocrystals. *Nano Letters*, 9(4), 1644–1650. <https://doi.org/10.1021/nl900007k>
- Jiao, C., Cheng, Y., Fan, W., & Li, J. (2015). Synthesis of agar-stabilized nanoscale zero-valent iron particles and removal study of hexavalent chromium. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(5), 1603–1612. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0524-0>
- Kalyan Kamal, S. S., Vimala, J., Sahoo, P. K., Ghosal, P., Ram, S., & Durai, L. (2014). A green chemical approach for synthesis of shape anisotropic gold nanoparticles. *International Nano Letters*, 4(2), 109. <https://doi.org/10.1007/s40089-014-0109-4>
- Karnan, T., Arul, S., Selvakumar, S., Adinaveen, T., & Suresh, J. (2016). Visible light induced photocatalytic degradation of azo dye by Bi₂O₃ nanoparticles synthesized using greener route. 7(8), 266–270.
- Karnan, T., & Selvakumar, S. A. S. (2016a). Biosynthesis of ZnO nanoparticles using rambutan (*Nephelium lappaceum*L.) peel extract and their photocatalytic activity on methyl orange dye. *Journal of Molecular Structure*, 1125, 358–365. <https://doi.org/10.1016/J.MOLSTRUC.2016.07.029>
- Kokila, T., Ramesh, P. S., & Geetha, D. (2015). Biosynthesis of silver nanoparticles from Cavendish banana peel extract and its antibacterial and free radical scavenging assay: a novel biological approach. *Applied Nanoscience*, 5(8), 911–920. <https://doi.org/10.1007/s13204-015-0401-2>
- Kumar, B., Smita, K., Angulo, Y., & Cumbal, L. (2016). Valorization of rambutan peel for the synthesis of silver-doped titanium dioxide (Ag/TiO₂) nanoparticles. *Green Processing and Synthesis*, 5(4), 371–377. <https://doi.org/10.1515/gps-2016-0003>
- Kumar, B., Smita, K., Cumbal, L., & Angulo, Y. (2015). Fabrication of silver nanoplates using *Nephelium lappaceum* (Rambutan) peel: A sustainable approach. *Journal of Molecular Liquids*, 211, 476–480. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2015.07.067>
- Kumar, D., Roy, R., Parashar, A., Raichur, A. M., Chandrasekaran, N., Mukherjee, A., & Mukherjee, A. (2017). Toxicity assessment of zero valent iron nanoparticles on *Artemia salina*. *Environmental Toxicology*, 32(5), 1617–1627.
- Kumari, M., Pittman, C. U., & Mohan, D. (2015). Heavy metals [chromium (VI) and lead (II)] removal from water using mesoporous magnetite (Fe₃O₄) nanospheres. *Journal of Colloid and Interface Science*, 442, 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.09.012>
- Lacina, P., Dvorak, V., Vodickova, E., Barson, P., Kalivoda, J., & Goold, S. (2015). The Application of Nano-Sized Zero-Valent Iron for In Situ Remediation of Chlorinated Ethylenes in Groundwater: A Field Case Study. *Water Environment Research*, 87(4), 326–333.
- Leili, M., Fazlzadeh, M., & Bhatnagar, A. (2018). Green synthesis of nano-zero-valent iron from Nettle and Thyme leaf extracts and their application for the removal of cephalixin antibiotic from aqueous solutions. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 39(9), 1158–1172. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1323956>
- Li, S., Wang, W., Liang, F., & Zhang, W. (2017). Heavy metal removal using nanoscale zero-valent iron (nZVI):

- Theory and application. *Journal of Hazardous Materials*, 322, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.01.032>
- Lu, H.-J., Wang, J.-K., Ferguson, S., Wang, T., Bao, Y., & Hao, H. (2016). Mechanism, synthesis and modification of nano zerovalent iron in water treatment. *Nanoscale*, 8(19), 9962–9975. <https://doi.org/10.1039/C6NR00740F>
- Machado, S., Pinto, S. L., Grosso, J. P., Nouws, H. P. A., Albergaria, J. T., & Delerue-Matos, C. (2013). Green production of zero-valent iron nanoparticles using tree leaf extracts. *Science of the Total Environment*, 467, 445–446, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.033>
- Madhavi, V., Prasad, T., & Madhavi, G. (2013). Synthesis and Spectral Characterization of Iron Based Micro and Nanoparticles. *International Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 3(2), 31–34. <https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2013.04.04.10>
- Mehdi Fazlzadeha, Kourosah Rahmania, Ahmad Zareib, Hossein Abdoallahzadeha, Fakhraddin Nasiric, R. K. (2016). A novel green synthesis of zero valent iron nanoparticles (NZVI) using three plant extracts and their efficient application for removal of Cr(VI) from aqueous solutions. *Advanced Powder Technology*. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921883116302497>
- Mendez-Flores, A., Hernández-Almanza, A., Sáenz-Galindo, A., Morlett-Chávez, J., Aguilar, C., & Ascacio-Valdés, J. (2018). Ultrasound-assisted extraction of antioxidant polyphenolic compounds from Nephelium lappaceum L. (Mexican variety) husk. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 11(12), 676. <https://doi.org/10.4103/1995-7645.248339>
- Menezes, E. W., Tadini, C. C., Tribess, T. B., Zuleta, A., Binaghi, J., Pak, N., Vera, G., Dan, M. C. T., Bertolini, A. C., Cordenunsi, B. R., & Lajolo, F. M. (2011). Chemical Composition and Nutritional Value of Unripe Banana Flour (*Musa acuminata*, var. Nanicão). *Plant Foods for Human Nutrition*, 66(3), 231–237. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0238-0>
- Mo, Y., Tang, Y., Wang, S., Lin, J., Zhang, H., & Luo, D. (2015). Green synthesis of silver nanoparticles using eucalyptus leaf extract. *Materials Letters*, 144(April 2015), 165–167. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.01.004>
- Monalisa Pattanayak, & P. L. Nayak. (n.d.). *ECOFRIENDLY GREEN SYNTHESIS OF IRON NANOPARTICLES FROM VARIOUS PLANTS AND SPICES EXTRACT*. Retrieved July 26, 2017, from <http://ijpaes.com/archive.php?issueid=30>
- Murgueitio, E., Debut, A., Landivar, J., & Cumbal, L. (2016). Synthesis of Iron Nanoparticles using Extracts of Native Fruits of Ecuador, as Capuli (*Prunus serotina*) and Mortino (*Vaccinium floribundum*). *Biology and Medicine*, 08(03), 1–3. <https://doi.org/10.4172/0974-8369.1000282>
- Mystrioti, C., Sparis, D., Papasiopi, N., Xenidis, A., Dermatas, D., & Chrysochoou, M. (2015). Assessment of polyphenol coated Nano zero Valent iron for hexavalent chromium removal from contaminated waters. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94, 302–307. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1442-z>
- Mystrioti, C., Xanthopoulou, T. D., Tsakiridis, P. E., Papasiopi, N., & Xenidis, A. (2016). Comparative evaluation of five plant extracts and juices for nanoiron synthesis and application for hexavalent chromium reduction. *Science of the Total Environment*, 539, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.091>
- Nadagouda, M. N., Castle, A. B., Murdock, R. C., Hussain, S. M., & Varma, R. S. (2010). In vitro biocompatibility of nanoscale zerovalent iron particles (NZVI) synthesized using tea polyphenols. *Green Chemistry*, 12(Copyright (C) 2014 American Chemical Society (ACS). All Rights Reserved.), 114–122.
- Nagarajaiah, S. B., & Prakash, J. (2011). Chemical composition and antioxidant potential of peels from three varieties of banana. *As. J. Food Ag-Ind*, 4(04), 256–263. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)80016-6](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)80016-6)
- Noruzi, M., & Mousivand, M. (2015). Instantaneous Green Synthesis of Zerovalent Iron Nanoparticles by Thuja orientalis Extract and Investigation of Their Antibacterial Properties. *Journal of Applied Chemical Research*, 9(2), 37–50. www.jacr.kiau.ac.ir
- O'Carroll, D., Sleep, B., Krol, M., Boparai, H., & Kocur, C. (2013). Nanoscale zero valent iron and bimetallic particles for contaminated site remediation. *Advances in Water Resources*, 51, 104–122.
- Padilla-Camberos, E., Flores-Fernández, J. M., Canales-Aguirre, A. A., Barragán-Álvarez, C. P., Gutiérrez-Mercado, Y., & Lugo-Cervantes, E. (2016). Wound healing and antioxidant capacity of *Musa paradisiaca* Linn. peel extracts. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 4(5), 165–173. http://jppres.com/jppres/pdf/vol4/jppres16.124_4.5.165.pdf%0Ahttp://jppres.com/jppres/wound-healing-and-antioxidant-capacity-of-musa-paradisiaca-peel/
- Pattanayak, M., & Nayak, P. L. (2013). Green Synthesis and Characterization of Zero Valent Iron Nanoparticles from the Leaf Extract of *Azadirachta indica* (Neem). *World Journal of Nano Science & Technology*, 2(1), 6–9. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjnst.2013.2.1.21132>
- Petcharoen, K., & Sirivat, A. (2012). Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles via the chemical co-precipitation method. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 177(5), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2012.01.003>
- Poguberović, S. S., Krčmar, D. M., Maletić, S. P., Kónya, Z., Pilipović, D. D. T., Kerkez, D. V., & Rončević, S. D. (2016). Removal of As(III) and Cr(VI) from aqueous solutions using “green” zero-valent iron nanoparticles produced by oak, mulberry and cherry leaf extracts. *Ecological Engineering*, 90, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.083>
- Prasad, K. S., Gandhi, P., & Selvaraj, K. (2014). Synthesis of green nano iron particles (GnIP) and their application in adsorptive removal of As(III) and As(V) from aqueous solution. *Applied Surface Science*, 317, 1052–1059. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.09.042>
- Purwoto, S., & Nugroho, W. (2013). REMOVAL Klorida, TDS DAN Besi pada Air Payau melalui Penukar Ion dan Filtrasi Campuran Zeolit Aktif dengan Karbon Aktif. *WAKTU*, 11(1), 47–59. <http://jurnal.unipasby.ac.id/index.php/waktu/article/view/861>
- Rahayu, B., Napitupulu, M., & Tahril, T. (2017). ANALISIS LOGAM ZINK (Zn) DAN Besi (Fe) AIR SUMUR DI KELURAHAN PANTOLOAN KECAMATAN PALU UTARA. *Jurnal Akademika Kimia*, 2(1), 1–4. <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/JAK/artic>

- e/view/7718
- Ravikumar, K. V. G., Kumar, D., Rajeshwari, A., Madhu, G. M., Mrudula, P., Chandrasekaran, N., & Mukherjee, A. (2016). A comparative study with biologically and chemically synthesized nZVI: applications in Cr (VI) removal and ecotoxicity assessment using indigenous microorganisms from chromium-contaminated site. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(3), 2613–2627. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5382-x>
- Saif, S., Tahir, A., & Chen, Y. (2016). Green synthesis of iron nanoparticles and their environmental applications and implications. *Nanomaterials*, 6(209), 1–29. <https://doi.org/10.3390/nano6110209>
- Sathya, M. (2014). Assaying the antioxidant activity of banana peel. *American Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 4(3), 122–129. <https://doi.org/10.3923/ajbmb.2014.122.129>
- Shahwan, T., Abu Sirriah, S., Nairat, M., Boyaci, E., Eroğlu, A. E., Scott, T. B., & Hallam, K. R. (2011). Green synthesis of iron nanoparticles and their application as a Fenton-like catalyst for the degradation of aqueous cationic and anionic dyes. *Chemical Engineering Journal*, 172(1), 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.103>
- Sheng, G., Hu, J., Li, H., Li, J., & Huang, Y. (2016). Enhanced sequestration of Cr(VI) by nanoscale zero-valent iron supported on layered double hydroxide by batch and XAFS study. *Chemosphere*, 148, 227–232. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.035>
- Shu, H. Y., Chang, M. C., Chen, C. C., & Chen, P. E. (2010). Using resin supported nano zero-valent iron particles for decoloration of Acid Blue 113 azo dye solution. *Journal of Hazardous Materials*, 184(1–3), 499–505.
- Singhal, M., & Ratra, P. (2013). Antioxidant activity, total flavonoid and total phenolic content of Musa acuminata peel extracts. *Global Journal of Pharmacology*, 7(2), 118–122. <https://doi.org/10.5829/idosi.gjp.2013.7.2.72158>
- Solimanzadeh, A., & Fekri, M. (2017). The application of green tea extract to prepare bentonite-supported nanoscale zero-valent iron and its performance on removal of Cr (VI): Effect of relative parameters and soil experiments. *Microporous and Mesoporous Materials*, 239, 60–69.
- Solimanzadeh, A., Fekri, M., Bakhtiary, S., & Mehrizi, M. H. (2016). Biosynthesis of iron nanoparticles and their application in removing phosphorus from aqueous solutions. *Chemistry and Ecology*, 32(3), 286–300.
- Suharno, Harajanti, B., Wijanto, D. S., Saputro, H., & Basori. (2012). *Pendidikan Dan Pelatihan Profesi Guru (PLPG)*. FKIP Universitas Sebelas Maret.
- Sunardi, Prasadja, M. E., Sembiring, F. (2015). Sintesis Ferri Klorida Dari Scrap Besi Bengkel Bubut. *Ekosains*, VII(2), 117–120.
- Sunardi. (2009). Potency of use ferrous sulphate from iron waste workshop bubut for raw material pharmacy. *Indonesian Journal of Pharmacy*, 20(3), 151–155. <https://doi.org/10.14499/indonesianjpharm0iss0pp151-155>
- Taha, M., & Ibrahim, A. (2014). Applicability of nano zero valent iron (nZVI) in sono-Fenton process. *Journal of Physics: ...* <https://doi.org/10.1088/1742-6596/495/1/012010>
- Tejabharam, Y., Pradeep, R., Helen, A. T., Gopalakrishnan, C., & Ramasamy, C. (2014). Ferrous sulfate based low temperature synthesis and magnetic properties of nickel ferrite nanostructures. *Materials Research Bulletin*, 60(1), 778–782. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2014.09.035>
- Thenmozhi, B., Suryakiran, S., Sudha, R., & Revathy, B. (2014). Green Synthesis and Comparative Study of Silver and Iron Nanoparticles from leaf extract. *International Journal of Institutional Pharmacy and Life Sciences*, 4(2), 5–19.
- Thitilertdecha, N., & Rakariyatham, N. (2011). Phenolic content and free radical scavenging activities in rambutan during fruit maturation. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 247–252. <https://doi.org/10.1016/j.SCIENTA.2011.03.041>
- Thitilertdecha, N., Teerawutgulrag, A., Kilburn, J. D., & Rakariyatham, N. (2010). Identification of Major Phenolic Compounds from Nephelium lappaceum L. and Their Antioxidant Activities. *Molecules*, 15(3), 1453–1465. <https://doi.org/10.3390/molecules15031453>
- Thitilertdecha, N., Teerawutgulrag, A., & Rakariyatham, N. (2008). Antioxidant and antibacterial activities of Nephelium lappaceum L. extracts. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 2029–2035. <https://doi.org/10.1016/j.LWT.2008.01.017>
- Tosco, T., Petrangeli Papini, M., Cruz Viggi, C., & Sethi, R. (2014). Nanoscale zerovalent iron particles for groundwater remediation: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 77, pp. 10–21). Elsevier.
- Tsang, S. C., Yu, C. H., Gao, X., & Tam, K. (2006). Silica-encapsulated nanomagnetic particle as a new recoverable biocatalyst carrier. *Journal of Physical Chemistry B*, 110(34), 16914–16922. <https://doi.org/10.1021/jp062275s>
- Varma, R. S. (2012). Greener approach to nanomaterials and their sustainable applications. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 1(2), 123–128.
- Wahyuni, S. (2011). *Menghasilkan Biogas dari Aneka Limbah (I)*. PT AgroMedia Pustaka. <https://books.google.co.id/books?id=g2Q8pF1qD1AC&pg=PA19&lpg=PA19&dq=PEMBENTUKAN+GAS+H2+S,+METANA,+NH3+DARI+SAMPAH&source=bl&ots=r05rG1AZOK&sig=VrCsVNpq3c0iS4EofqxQvhpcefY&hl=id&sa=X&ved=0ahUKEwj98fPp8rzXAhUDNo8KHTduAfAQ6AEIwJA0#v=onepage&q=PEMBENTUKAN>
- Wang, T., Jin, X., Chen, Z., Megharaj, M., & Naidu, R. (2014). Green synthesis of Fe nanoparticles using eucalyptus leaf extracts for treatment of eutrophic wastewater. *Science of the Total Environment*, 466–467, 210–213. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.022>
- Wang, X., Wang, A., Ma, J., & Fu, M. (2017). Facile green synthesis of functional nanoscale zero-valent iron and studies of its activity toward ultrasound-enhanced decolorization of cationic dyes. *Chemosphere*, 166, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.056>
- Wang, Z., Fang, C., & Megharaj, M. (2014). Characterization of Iron – Polyphenol Nanoparticles Synthesized by Three Plant Extracts and Their Fenton Oxidation of Azo Dye. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 1–4. <https://doi.org/10.1021/sc500021n>
- Wei, Y., Fang, Z., Zheng, L., Tan, L., & Tsang, E. P. (2016). Green synthesis of Fe nanoparticles using Citrus maxima peels aqueous extracts. *Materials Letters*, 185, 384–386. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.09.029>
- Xu, J., Gao, N., Zhao, D., Yin, D., Zhang, H., Gao, Y., & Shi, W.

- (2015). Comparative study of nano-iron hydroxide impregnated granular activated carbon (Fe-GAC) for bromate or perchlorate removal. *Separation and Purification Technology*, 147, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.03.052>
- Yoon, S.-Y., Lee, C.-G., Park, J.-A., Kim, J.-H., Kim, S.-B., Lee, S.-H., & Choi, J.-W. (2014). Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies for phosphate adsorption to magnetic iron oxide nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 236, 341-347. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.053>
- Yuan, N., Zhang, G., Guo, S., & Wan, Z. (2016). Enhanced ultrasound-assisted degradation of methyl orange and metronidazole by rectorite-supported nanoscale zero-valent iron. *Ultrasonics Sonochemistry*, 28, 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.06.029>
- Yuvakkumar, R., Suresh, J., Nathanael, A. J., Sundrarajan, M., & Hong, S. I. (2014). Novel green synthetic strategy to prepare ZnO nanocrystals using rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel extract and its antibacterial applications. *Materials Science and Engineering: C*, 41, 17-27. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2014.04.025>
- Yuvakkumar, R., Suresh, J., Saravanakumar, B., Joseph Nathanael, A., Hong, S. I., & Rajendran, V. (2015). Rambutan peels promoted biomimetic synthesis of bioinspired zinc oxide nanochains for biomedical applications. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 137, 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.08.022>
- Zhuang, Y., Ma, Q., Guo, Y., & Sun, L. (2017). Protective effects of rambutan (*Nephelium lappaceum*) peel phenolics on H₂O₂-induced oxidative damages in HepG2 cells and D-galactose-induced aging mice. *Food and Chemical Toxicology*, 108, 554-562. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.01.022>