

## SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS MENGGUNAKAN REDUKTOR TRISODIUM SITRAT

Herlan Setiawan<sup>1</sup>, Anung Pujiyanto<sup>1</sup>, Hotman Lubis<sup>1</sup>, Rien Ritawidya<sup>1</sup>,  
Mujinah<sup>1</sup>, Dede Kurniasih<sup>1</sup>, Witarti<sup>1</sup>, Hambali<sup>1</sup>, Abdul Mutalib<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka- BATAN –  
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangsel

<sup>2</sup>Fakultas Matematika dan IPA Universitas Padjadjaran,  
Jatinangor, Sumedang  
herlan.setiawan@batan.go.id

### ABSTRAK

**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS MENGGUNAKAN REDUKTOR TRISODIUM SITRAT.** Nanopartikel yang berasal dari logam mulia seperti emas banyak dikembangkan karena bersifat inert dan relatif aman dalam penggunaan secara *in vivo* dalam dosis tertentu. Pada penelitian ini nanopartikel emas dibuat melalui proses reduksi larutan prekursor H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> pada suhu 100 °C dengan konsentrasi 0,4 mM; 0,3 mM; 0,15 mM; 0,1 mM dan 0,075mM. Pereduksi yang digunakan adalah trisodium sitrat 5% b/v (0,17 M) yang sekaligus berfungsi sebagai stabilisator. Analisa UV-Vis pada larutan H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> sebelum sintesis menunjukkan puncak serapan pada panjang gelombang 290 nm, sedangkan setelah sintesis muncul puncak serapan pada panjang gelombang 524 nm yang menunjukkan terbentuknya nanopartikel emas. Pada pengamatan sintesis nanopartikel emas menggunakan H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> 0,4 mM berdasarkan waktu pembentukan nanopartikel, panjang gelombang 525-527 nm paling tinggi ditunjukkan pada menit ke 25 sampai 35. Ukuran rata-rata nanopartikel emas menggunakan H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> 0,07 mM, 0,15 mM, 0,30 mM dan 0,40 mM berturut-turut adalah 3,087 nm, 6,157 nm, 11,20 nm dan 39,54 nm. Pada sintesis menggunakan H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> 0,40 mM terbentuk nanopartikel emas yang berukuran 186,3 nm dengan probabilitas sebaran 0,3% dari total partikel, hal ini diduga akibat mulai terjadi koagulasi dalam proses sintesis. Hasil analisa TEM pada nanopartikel menggunakan H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> 0,4 mM menunjukkan ukuran partikel sekitar 20-40 nm.

**Kata Kunci :** H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub>, trisodium sitrat, nanopartikel emas, UV-Vis, PSA (Particle Size Analyzer)

### ABSTRACT

**SYNTHESIS OF GOLD NANOPARTICLES USING TRISODIUM CITRATE AS THE REDUCING AGENT.** Noble metal nanoparticles such as gold nanoparticles intensively developed, because it is inert and relatively safe for *in-vivo* use in certain doses. In this study, gold nanoparticles are made through reduction process using H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> precursor solution with a concentration of 0.4 mM; 0.3 mM; 0.15 mM; 0.1 Mm and 0.075 mM at temperature of 100 °C. Trisodium citrate 0.17 M was used as reducing agent and also as the stabilizer. UV-Vis analysis of the H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> solution before synthesis showed absorbance at wavelength 290 nm, while the absorbance appears after synthesis at wavelength 524 nm which indicates the formation of gold nanoparticles. In observation of nanoparticles formation using 0.4 mM H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> as a function of time, the highest peak in wavelength between 525-527 nm is shown on 25 to 35 minutes synthesis process. The average size of gold nanoparticles using H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> 0.07 mM, 0.15 mM, 0.30 mM and 0.40 mM, are 3,087 nm, 6,157 nm, 11.20 nm and 39.54 nm respectively. In the process of synthesis with 0.40 mM H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> formed gold nanoparticles 186.3 nm with distribution probability of 0.3% of the total particles, it is considered the coagulation of gold nanoparticles was occurred. The results of TEM analysis on nanoparticles using 0.4 mM H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> showed particle size between 20-40 nm.

**Keywords:** H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub>, trisodium citrate, gold nanoparticles, UV-Vis, PSA (Particle Size Analyzer)

## PENDAHULUAN

Nanoteknologi saat ini merupakan penelitian yang banyak di kembangkan diberbagai bidang keilmuan karena pemanfaatannya yang sangat luas. Suatu penelitian dapat digolongkan nanoteknologi apabila melibatkan suatu partikel atau material yang berukuran kurang dari 100 nm dan material tersebut memiliki sifat yang jauh berbeda dari penyusunnya yang berukuran makro. Nanopartikel bukan hanya unggul dari segi struktur, namun juga unggul dalam hal fungsinya. Nanopartikel memiliki sifat optik dan elektronik yang berbeda, luas permukaan yang lebih besar mengakibatkan sifat katalitik yang jauh lebih baik dari penyusunnya yang berukuran makro. Semakin berkembangnya penelitian nanoteknologi bahkan menghasilkan suatu disiplin ilmu baru diantaranya *nanoengineering*, nanoelektronik dan nanobioelektronik [1].

Selain di bidang teknik, nanoteknologi saat ini juga dikembangkan dalam bidang kesehatan, diantaranya nanomedicine, *drugs delivery*, bahkan saat ini sedang dikembangkan nanobot yang berfungsi sebagai media untuk proses pengobatan suatu penyakit secara spesifik [2]. Aplikasi *nanomedicine* dan *nanodrugs delivery* difokuskan pada bagaimana suatu obat dapat dikirimkan ke organ atau sel target secara tepat (*targeted nanomedicine*), sehingga volume obat yang diinjeksikan lebih sedikit dan lebih efektif [3]. Beberapa nanomaterial telah dikembangkan dalam pembuatan *drug delivery* diantaranya alumina, silica, emas [4], polistirene dan  $TiO_2$  [5].

Nanopartikel yang berasal dari logam mulia seperti emas dan perak lebih banyak dikembangkan karena bersifat *inert* dan relatif aman dalam penggunaan secara *in vivo* dalam dosis tertentu. Nanopartikel emas memiliki pita serapan plasmon tertentu tergantung pada ukuran partikelnya. Aplikasi nanopartikel emas diantaranya sebagai bahan kosmetik, biosensor, biomedis, katalis

dan sebagai agen pengantar obat (*drug delivery agent*) untuk penyakit kanker. [6]

Di bidang kesehatan nanopartikel emas memiliki kelebihan untuk digunakan dalam proses diagnosa dan terapi. Fungsi diagnosa didasarkan karena nanopartikel emas menunjukkan serapan dan emisi karakteristik yang dapat digunakan dalam pencitraan untuk diagnosa. Nanopartikel emas memiliki serapan spesifik terhadap sinar-X, sehingga dapat meningkatkan kontras dalam pencitraan menggunakan *Computed Tomography* (CT). Fungsi terapi dapat dilakukan karena nanopartikel emas akan melepaskan sejumlah panas bila berada pada suatu medan magnet, sehingga sangat potensial untuk mengontrol pertumbuhan tumor spesifik. Pembuatan nanopartikel emas dari radioisotop emas-198 ( $^{198}Au$ ) yang merupakan pemancar beta ( $\beta$ ) dapat digunakan untuk sebagai radioterapi kanker [7]. Aplikasi isotop Au-198 lainnya adalah dalam bidang radioisotop perunut, sehingga tidak menutup kemungkinan nanopartikel Au-198 digunakan sebagai *nanotracer*.

Nanopartikel emas dibuat melalui proses reduksi larutan prekursor  $HAuCl_4$  menggunakan pereduksi berupa asam organik, polisakarida, aldehyd alkohol dan pereduksi kuat seperti  $NH_2NH_2$  dan  $NaBH_4$ . Sedangkan untuk bentuk dan ukuran partikel diperlukan perlakuan khusus pada proses sintesis dengan mengubah variabel konsentrasi prekursor atau pereduksi, temperatur sintesis, pH, bahan aditif dan surfaktan. Selain prekursor dan pereduksi diperlukan juga stabilisator dalam proses sintesis, hal ini bertujuan agar nanopartikel emas yang terbentuk tidak teraglomerasi sehingga menjadi partikel yang berukuran makro [8]. Penggunaan stabilisator umumnya diberikan pada proses sintesis menggunakan pereduksi kuat. Stabilisator yang dipilih dalam sintesis nanopartikel emas sebagai agen pengantar obat adalah dendrimer. Dendrimer selain berfungsi sebagai stabilisator, juga berfungsi sebagai material yang akan mengenkapsulasi

nanopartikel emas, sehingga partikel akan cenderung lebih stabil dan memiliki monodispersitas tinggi.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel emas menggunakan trisodium sitrat sebagai stabilisator sekaligus sebagai reduktor. Kelebihan penggunaan trisodium sitrat dalam proses sintesis adalah dihasilkan nanopartikel yang membentuk bola dengan monodispersitas yang tinggi [9]. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui batas konsentrasi  $\text{HAuCl}_4$  yang dapat digunakan pada proses sintesis nanopartikel menggunakan reduktor trisodium sitrat dengan konsentrasi tertentu dan mengetahui waktu optimum sintesis. Prekursor yang digunakan adalah larutan  $\text{HAuCl}_4$  yang dibuat dari proses pelarutan logam emas menggunakan aqua regia. Parameter yang diamati adalah perbedaan konsentrasi  $\text{HAuCl}_4$  terhadap ukuran partikel dan proses pembentukan nanopartikel emas terhadap waktu sintesis.

## METODOLOGI

### Bahan

Bahan utama dalam pembuatan nanopartikel emas adalah emas murni 99,99% yang digunakan untuk pembuatan larutan prekursor  $\text{HAuCl}_4$ , emas murni yang digunakan berasal dari PT.ANTAM berbentuk *foil* (lembaran) dengan ketebalan 0,25 mm. Trisodium sitrat 99% berasal dari sigmaaldrich,  $\text{HNO}_3$  p.a,  $\text{HCl}$  p.a berasal dari Merck, serta bahan kimia lainnya. Untuk proses analisa dilakukan menggunakan spektra UV/Vis dan *Particle Size Analyzer* (PSA).

### Pembuatan $\text{HAuCl}_4$ dan Trisodium citrat

Logam emas seberat 11,3 g dilarutkan menggunakan 5 mL aqua regia ( $\text{HCl} : \text{HNO}_3$ ) dengan pemanasan  $\pm 90^\circ\text{C}$ . Setelah logam emas larut dalam aqua regia, larutan terus dipanaskan hingga gas  $\text{NO}_2$  hasil reaksi menguap dan larutan menjadi kiserat. Hasil kiserat ditambah 10 mL aqua demineralisasi, kemudian dikiseratkan kembali. Proses pengiseratan dan penambahan 10 mL aqua demineralisasi dilakukan sebanyak 3 kali. Setelah pengiseratan yang ke-3, kiserat dilarutkan dalam aqua demineralisasi sehingga diperoleh konsentrasi larutan stok  $\text{HAuCl}_4$

2,0 mM. Larutan  $\text{HAuCl}_4$  di analisa menggunakan *Spektrometer UV/VIS*. Stabilisator yang digunakan adalah trisodium sitrat 5 % b/v (0,17 M), yang dibuat dari larutan trisodium sitrat dihidrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dengan kemurnian >99% [9].

### Pembuatan Nanopartikel emas

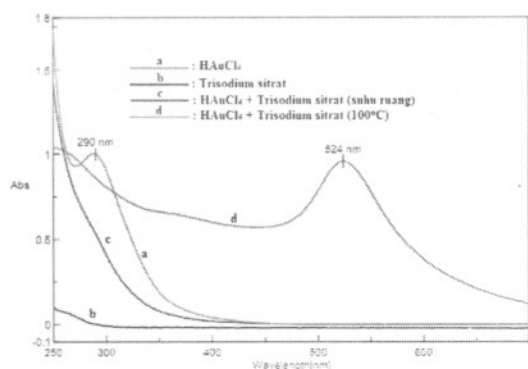
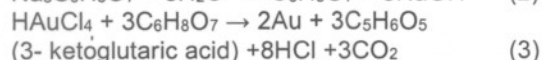
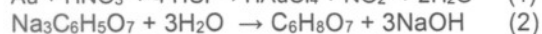
Proses pembuatan nanopartikel emas dilakukan dengan mencampurkan larutan  $\text{HAuCl}_4$  dan reduktor. Pada penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel emas dengan variasi konsentrasi larutan emas, sedangkan konsentrasi trisodium sitrat sebagai reduktor dan stabilisator dibuat tetap. Variasi konsentrasi larutan emas dibuat dengan mengencerkan larutan stok  $\text{HAuCl}_4$  dalam aqua demineralisasi dengan perbandingan volume 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 sehingga diperoleh konsentrasi 0,4 mM; 0,3 mM; 0,15 mM; 0,1 Mm dan 0,075mM. Konsentrasi trisodium sitrat yang digunakan adalah 5% b/v atau 0,17 M. Sebanyak 1 mL larutan trisodium sitrat ditambahkan ke dalam 10 mL larutan  $\text{HAuCl}_4$  0,4 mM, kemudian campuran diaduk dan dipanaskan pada suhu  $\pm 100^\circ\text{C}$ . Proses selanjutnya sama untuk larutan  $\text{HAuCl}_4$  0,3 mM hingga 0,75 mM. Dilakukan analisa spektrofotometri UV/Vis pada campuran larutan  $\text{HAuCl}_4$  dan trisodium sitrat sebelum dan sesudah sintesis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan larutan prekursor  $\text{HAuCl}_4$  dilakukan dengan proses pelarutan foil emas murni dengan aqua regia ( $\text{HCl} : \text{HNO}_3$  3 : 1) seperti yang ditunjukkan pada reaksi kimia pada persamaan (1). Pada proses awal proses pelarutan foil emas menggunakan aqua regia akan terjadi perubahan warna larutan dari tak berwarna menjadi larutan kuning kemerahan. Warna larutan kuning kemerahan menunjukkan adanya foil emas yang larut dan terbentuknya gas  $\text{NO}_2$  yang terlarut. Proses pengiseratan pada suhu  $\pm 85^\circ\text{C}$  bertujuan mempercepat lepasnya gas  $\text{NO}_2$  yang terbentuk, sehingga  $\text{HAuCl}_4$  yang diperoleh bebas oksida nitrogen. Pengulangan pengiseratan bertujuan untuk memastikan gas  $\text{NO}_2$  lepas seluruhnya. Proses akhir kiserat dilarutkan dengan aqua demineralisasi untuk mengurangi kandungan logam lain yang mungkin terlarut dalam prekursor  $\text{HAuCl}_4$ .

Prinsip pembentukan nanopartikel emas dari prekursor  $\text{HAuCl}_4$  adalah reaksi reduksi ion  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$ . Penambahan stabilisator sangat diperlukan untuk menjaga

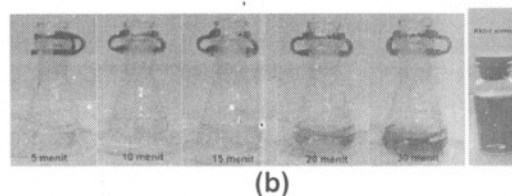
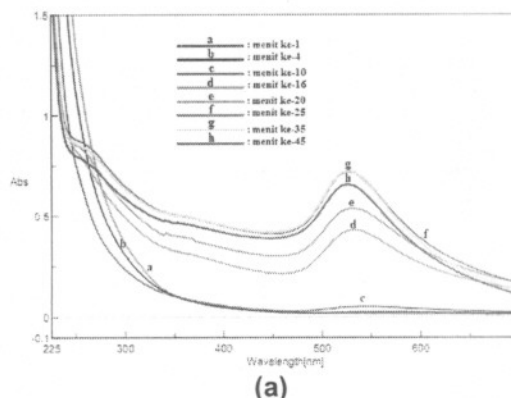
agar pembentukan nanopartikel tetap stabil, sehingga tidak terjadi proses koagulasi. Pada penelitian ini menggunakan trisodium sitrat yang berfungsi sebagai stabilisator karena sifatnya sebagai larutan penyangga, dimana trisodium sitrat adalah garam yang berasal dari asam lemah (asam sitrat) dan basa kuat (NaOH) seperti pada persamaan (2). Asam sitrat hasil penguraian trisodium sitrat berfungsi sebagai reduktor lemah, sehingga ion  $Au^{3+}$  akan direduksi menjadi  $Au^0$  seperti ditunjukkan pada persamaan (3). Pembentukan  $Au^0$  yang terkontrol akan membentuk nanopartikel emas dengan ukuran tertentu. Parameter yang dapat dikontrol dalam pertumbuhan nanopartikel emas diantaranya perbandingan konsentrasi  $Au^{3+}$  terhadap reduktor, suhu reaksi, waktu sintesis (waktu pertumbuhan) dan pH.



**Gambar 1.** Hasil Analisa UV-Vis sintesis nanopartikel emas menggunakan stabilisator trisodium sitrat

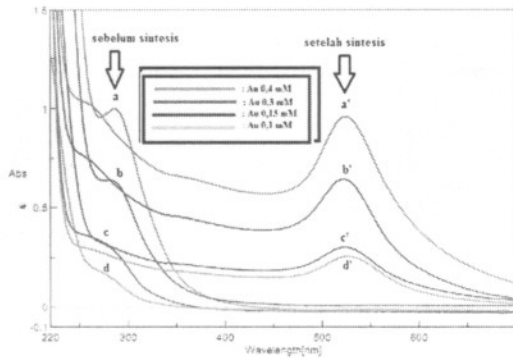
Gambar 1. menunjukkan hasil analisa UV-Vis sintesis nanopartikel emas menggunakan stabilisator trisodium sitrat. Hasil analisa UV-Vis pada larutan  $HAuCl_4$  menunjukkan adanya puncak serapan pada panjang gelombang 290 nm. Larutan trisodium sitrat 0,17 M tidak menunjukkan adanya puncak serapan yang berarti pada hasil analisa UV-Vis. Spektra UV-Vis pada campuran  $HAuCl_4$  dan trisodium sitrat pada awal proses sintesis tidak menunjukkan adanya puncak serapan pada panjang gelombang 290 nm yang menunjukkan puncak serapan  $HAuCl_4$ . Spektra campuran menunjukkan adanya landaian dari panjang gelombang 225-450 nm. Selama proses

sintesis larutan terus diaduk selama 45 menit dan dipanaskan pada suhu  $\pm 100$  °C. Hasil analisa UV-Vis larutan hasil sintesis menunjukkan adanya puncak serapan pada panjang gelombang 524 nm yang menunjukkan telah terbentuk nanopartikel emas.

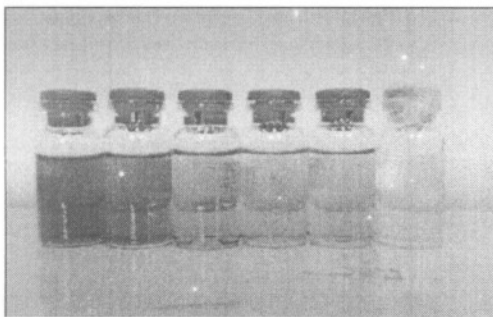


**Gambar 2.** (a) Spektra UV-Vis pembentukan nanopartikel Au dengan stabilisator trisodium sitrat berdasarkan waktu sintesis ( $HAuCl_4$  0,4 mM), (b) Perubahan visual pembentukan nanopartikel Au berdasarkan waktu sintesis

Perubahan visual larutan dan puncak serapan berdasarkan perubahan waktu pada sintesis nanopartikel  $Au^0$  menggunakan trisodium sitrat sebagai stabilisator ditunjukkan pada gambar 2. Pengamatan dilakukan menggunakan spektra UV-Vis pada sintesis nanopartikel  $Au^0$  menggunakan  $HAuCl_4$  dengan konsentrasi 0,4 mM pada menit ke-1 sampai menit ke-45 dengan pemanasan  $\pm 100$  °C. Puncak serapan pada panjang gelombang 525-527 nm paling tinggi ditunjukkan pada menit ke 25 sampai 35. Pada proses pengukuran pada menit ke 45 puncak serapan pada 525-527 nm mengalami penurunan. Secara visual pada proses pemanasan hingga 45 menit terbentuk padatan berwarna kehitaman yang diduga akibat terjadi koagulasi. Dari hasil pengujian tersebut, waktu yang digunakan untuk sintesis nanopartikel  $Au^0$  adalah 30 menit pada suhu  $\pm 100$  °C.



**Gambar 3.** Perubahan spektra UV-Vis HAuCl<sub>4</sub> sebelum dan sesudah sintesis pada berbagai variasi konsentrasi



**Gambar 4.** Larutan Nanopartikel Au hasil sintesis konsentrasi HAuCl<sub>4</sub> (berturut-turut dari kiri ke kanan) 0,4 mM; 0,3mM; 0,15 mM; 0,1 mM; 0,075mM dan sebelum sintesis

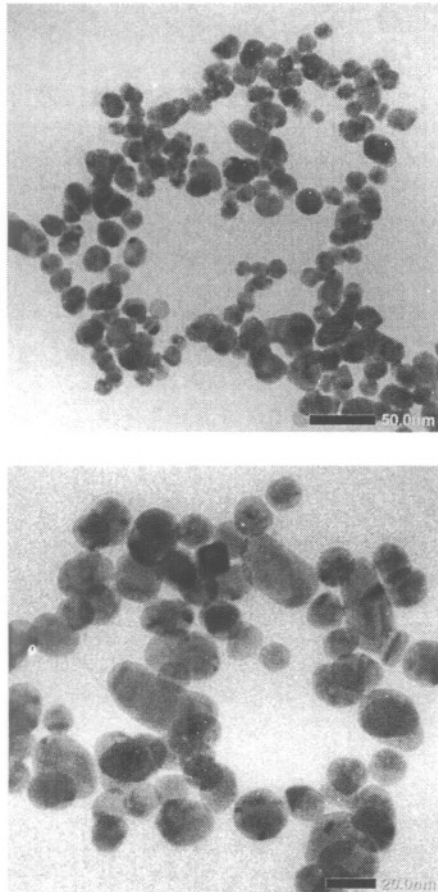
Penggunaan variasi konsentrasi HAuCl<sub>4</sub> pada proses sintesis nanopartikel Au ditunjukkan pada Gambar 3. Konsentrasi HAuCl<sub>4</sub> yang diamati menggunakan UV-Vis adalah 0,4 mM – 0,1 mM, pada konsentrasi HAuCl<sub>4</sub> 0,075 mM puncak serapan pada spektra UV-Vis tidak dapat diamati lagi. Sebelum proses sintesis, HAuCl<sub>4</sub> ditandai dengan adanya puncak serapan pada panjang gelombang 290 nm. Setelah proses sintesis terbentuk puncak serapan pada panjang gelombang 525-527 nm yang menandakan terbentuknya nanopartikel Au bebas. Semakin tinggi konsentrasi HAuCl<sub>4</sub> maka intensitas puncak serapan pada 527 nm semakin tinggi. Spektra UV-Vis setelah proses sintesis tidak menunjukkan adanya puncak serapan pada 290 nm, sehingga diduga HAuCl<sub>4</sub> (Au<sup>3+</sup>) sudah tereduksi menjadi nanopartikel Au<sup>0</sup>. Gambar 4 menunjukkan visual nanopartikel Au hasil sintesis dengan konsentrasi HAuCl<sub>4</sub> berturut-turut dari kiri ke kanan 0,4 mM; 0,3mM; 0,15 mM; 0,1 mM; 0,075mM dan sebelum sintesis. Pada konsentrasi 0,075

mM pada analisa menggunakan spektra UV-Vis tidak menunjukkan puncak serapan yang signifikan.

**Tabel 1.** Hasil analisa nanopartikel emas menggunakan *Particle Size Analysis* (PSA)

No	Konsentrasi HAuCl <sub>4</sub> (mM)	Ukuran partikel (d, nm)	Sebaran (%)	Std Deviasi (d,nm)
1.	0,07	3,087	100	0,577
2.	0,15	6,157	100	1,709
3.	0,30	11,20	100	4,29
4.	0,40	39,54	99,7	7,31
		186,3	0,3	40,04

Analisa sampel hasil sintesis nanopartikel emas menggunakan *Particle Size Analysis* (PSA) ditunjukkan pada Tabel 1. Parameter sistem yang digunakan saat pengukuran adalah suhu pengukuran 24,9 °C, kecepatan ukur 145,9 kcps, lama pengukuran 50 detik, posisi pengukuran 4,65 mm, indeks bias 1,330 dan viskositas larutan 0,8872 kg/(s·m). Ukuran nanopartikel emas paling kecil ditunjukkan pada proses sintesis menggunakan HAuCl<sub>4</sub> 0,07 mM dengan distribusi ukuran partikel rata-rata 3,087±0,577 nm. Pengukuran PSA pada hasil sintesis menggunakan HAuCl<sub>4</sub> 0,4 mM menunjukkan 2 buah puncak sebaran dengan distribusi ukuran partikel rata-rata 39,54±7,31 nm (99,7%) dan 186,3±40,04 nm (0,3%). Distribusi ukuran partikel rata-rata lebih dari 100 nm pada penggunaan konsentrasi HAuCl<sub>4</sub> 0,4 mM menunjukkan adanya koagulasi saat proses sintesis. Koagulasi kemungkinan terjadi karena perbandingan konsentrasi HAuCl<sub>4</sub> dan trisodium sitrat yang digunakan terlalu tinggi. Konsentrasi Trisodium sitrat 0,17 M tidak berfungsi efektif sebagai stabilisator pada sintesis nanopartikel emas dengan konsentrasi lebih dari HAuCl<sub>4</sub> 0,4 mM. Gambar.5 menunjukkan ukuran nanopartikel yang terbentuk dari hasil sintesis menggunakan HAuCl<sub>4</sub> 0,4 mM. Pada Gambar 5 tampak ukuran partikel berkisar antara 20-40 nm, hal ini sesuai dengan hasil analisa menggunakan PSA.



**Gambar 5.** Hasil analisa nanopartikel Au pada konsentrasi  $\text{HAuCl}_4$  0,4 mM menggunakan TEM

#### KESIMPULAN

Pada sintesis nanopartikel emas digunakan  $\text{HAuCl}_4$  dengan konsentrasi 0,4 mM; 0,3 mM; 0,15 mM; 0,1 Mm dan 0,075mM, sedangkan konsentrasi trisodium sitrat yang digunakan adalah 5% b/v atau 0,17 M. Dari analisa spektroskopi UV-Vis menunjukkan adanya puncak serapan pada panjang gelombang 524-525 nm yang mengindikasikan telah terbentuk nanopartikel emas. Hasil pengamatan pada perubahan kenaikan puncak serapan 525-527 nm, waktu optimum sintesis nanopartikel emas adalah 30-35 menit pada suhu  $100^\circ\text{C}$ . Ukuran nanopartikel emas paling kecil ditunjukkan pada proses sintesis menggunakan  $\text{HAuCl}_4$  0,07 mM dengan rata-rata ukuran partikel  $3,087 \pm 0,5772$  nm. Ukuran nanopartikel emas paling besar ditunjukkan pada proses sintesis menggunakan  $\text{HAuCl}_4$  0,4 mM dengan rata-rata ukuran partikel  $39,54 \pm 7,314$  nm (99,7%) yang diperkuat dengan adanya tampilah dari

hasil analisa TEM yang menunjukkan kisaran ukuran antara 20-40 nm. Pada sintesis dengan  $\text{HAuCl}_4$  0,4 mM ditunjukkan pula adanya sebaran ukuran partikel  $186,3 \pm 40,04$  nm (0,3%), hal ini menunjukkan adanya proses koagulasi. Sehingga batas konsentrasi  $\text{HAuCl}_4$  yang dapat digunakan untuk sintesis nanopartikel emas adalah 0,4 mM dengan konsentrsai trisodium sitrat 5% b/v. Penelitian selanjutnya akan dilakukan pengaruh perubahan konsentrasi reduktor terhadap konsentrasi prekursor  $\text{HAuCl}_4$  tetap. Selain itu akan dilakukan sintesis nanopartikel emas menggunakan radioisotop  $^{198}\text{Au}$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Tabrizi A., Ayhan F., Ayhan H., (2009), Gold Nanoparticle Synthesis and Characterisation. *Hacettepe J. Biol. & Chem.*, 37 (3) : 217-226
2. Mulhall D., (2002), *Our Molecular Future: How Nanotechnology, Robotics, Genetics and Artificial Intelligence will Transform our World.* by Phil Gates, School of Biological and Biomedical Sciences, Science Laboratories, University of Durham, South Road, Durham. Prometheus Books, New York, USA
3. Shapira A., Livney Y D., Broxterman H J., Assaraf Y G., (2011), Nanomedicine for targeted cancer therapy: Towards the overcoming of drug Resistance. *Drug Resistance Update*, 14 : 150-163
4. Papasani MR., Wang G., Hill R A., (2012), Gold nanoparticles: the importance of physiological principles to devise strategies for targeted drug delivery. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 8 : 804-814
5. Hiraiwa D., Yoshimura T., Esumi K., (2006), Interaction forces between poly(amidoamine) (PAMAM) dendrimers adsorbed on gold surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science* 298 : 982-986
6. Pimpang P., Choopun S., (2011), Monodispersity and Stability of Gold anoparticles Stabilized by Using Polyvinyl Alcohol. *Chiang Mai J. Sci.* 38(1): 31-38
7. Katti K V., Kannan R., Departments of Radiology and Physics, Missouri University Research Reactor, University of Missouri-Columbia. Nanomedicine:Should NAPE Be Interested? Available from:

- <http://www.pxenape.org/articles/Nanomedicine.htm>, Diakses : 12 Okt 2013
8. Jung S H., Kim K I., Ryu J H., Choi S H., Kim J B., (2010), Preparation of radioactive core-shell type  $^{198}\text{Au}@\text{SiO}_2$  nanoparticles as a radiotracer for industrial process applications. *Applied Radiation and Isotopes* 68: 1025–1029
  9. Nguyen D T., Kim D J., So M G., Kim K S., (2010), Experimental measurements of gold nanoparticle nucleation and growth by citrate reduction of  $\text{HAuCl}_4$ . *Advanced Powder Technology* 21: 111-118