

**STABILITAS PIGMEN KLOROFIL DARI *Spirulina platensis*  
TERMODIFIKASI LOGAM ZINK (Zn) SEBAGAI KANDIDAT  
*SENSITIZER* ALAMI**

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains Program Studi Kimia



Oleh

Chindiar Rizka Alifia

NIM 1503542

**PROGRAM STUDI KIMIA  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN KIMIA  
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA  
BANDUNG  
2019**

**STABILITAS PIGMEN KLOROFIL DARI *Spirulina platensis*  
TERMODIFIKASI LOGAM ZINK (Zn) SEBAGAI KANDIDAT  
*SENSITIZER ALAMI***

Oleh  
Chindiar Rizka Alifia

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

©Chindiar Rizka Alifia 2019  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Agustus 2019

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,  
dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**CHINDIAR RIZKA ALIFIA**  
STABILITAS PIGMEN KLOOROFIL DARI *Spirulina platensis*  
TERMODIFIKASI LOGAM ZINK (Zn) SEBAGAI KANDIDAT *SENSITIZER*  
ALAMI

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing :

Pembimbing I



Heli Siti Halimatul Munawaroh, M.Si., Ph.D.

NIP. 197907302001122002

Pembimbing II



Gun Gun Gumilar, M. Si

NIP. 197906262001121001

Mengetahui,

Ketua Departemen Pendidikan Kimia



Dr. Hendrawan, M.Si.

NIP. 196309111989011001

## ABSTRAK

Sumber daya hayati biomassa mikroalga memiliki kandungan pigmen warna yang dapat dimanfaatkan sebagai antena penangkap cahaya (*sensitizer*), utamanya cahaya matahari. *Spirulina platensis* adalah salah satu sumber pigmen klorofil yang berpotensi sebagai *sensitizer*. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, pigmen klorofil bersifat tidak stabil dan mudah rusak. Pada penelitian ini, modifikasi pigmen klorofil melalui penggantian ion logam  $Mg^{2+}$  sebagai atom pusat klorofil dengan ion logam  $Zn^{2+}$  bertujuan untuk meningkatkan kestabilan klorofil yang akan dijadikan kandidat *sensitizer* alami. Karakteristik pigmen klorofil, sifat stabilitas cahaya, dan stabilitas termalnya dibandingkan terhadap pigmen klorofil termodifikasi logam Zn (Zn-klorofil). Tahapan penelitian yang dilakukan yaitu ekstraksi pigmen klorofil, pembentukan turunan klorofil (feofitin), dan modifikasi klorofil dengan substitusi logam Zn. Selanjutnya, uji karakteristik tiap pigmen dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR. Terakhir, uji stabilitas cahaya dan termal pigmen klorofil dan Zn-klorofil dibandingkan. Ekstraksi pigmen klorofil dengan pelarut aseton menghasilkan ekstrak pigmen Mg-klorofil berwarna hijau. Selanjutnya, turunan klorofil (feofitin) yang terbentuk berubah menjadi hijau kembali setelah modifikasi. Pergeseran biru (hipsokromik) dari klorofil menjadi Zn-klorofil tampak pada spektrum serapan di rentang sinar tampak, yaitu dari 431 nm menjadi 425 nm pada daerah biru – violet (*Soret Band*) dan dari 665 nm menjadi 657 nm pada daerah merah (*Q band*). Hasil pengukuran spektrum IR Zn-klorofil menunjukkan pergeseran serapan inframerah pada sinyal amina heterosiklik,  $(C13^1)=O$ ,  $(C=C)$   $(C=N)$ , regangan CN amina sekunder, dan serapan unsur logam. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa modifikasi pigmen klorofil oleh ion logam  $Zn^{2+}$  dapat meningkatkan stabilitas cahaya dan stabilitas termal pigmen klorofil.

**Kata kunci:** klorofil termodifikasi logam, *sensitizer* alami, stabilitas cahaya, stabilitas termal, Zn-klorofil.

## ABSTRACT

*Biological resources of microalgae biomass contain color pigments that can be used as antenna light capture (sensitizer), especially sunlight. Spirulina platensis is the one source of chlorophyll pigments, that potentially. Based on the result of previous studies, chlorophyll pigments are unstable and easily damaged. In this study, the modification of chlorophyll pigments through the replacement of  $Mg^{2+}$  metal ions as chlorophyll central atoms with  $Zn^{2+}$  metal ions aim to increase the stability of chlorophyll which will be a natural sensitizer candidate. The research start from extraction of chlorophyll pigments, forming chlorophyll derivatives (pheophytin), and modification of chlorophyll with Zn metal substitution. Next, the characteristics test of each pigment was carried out using UV-Vis and FTIR spectrophotometers. Finally, the light and thermal stability test of chlorophyll and Zn-chlorophyll pigments compared. Extraction of chlorophyll pigments with acetone solvents produced green Mg-chlorophyll. Subsequently, Brown olive of pheophytin come through regreening after modification. Blue (hipschromic) shift from chlorophyll to Zn-chlorophyll appears at the absorption spectrum in visible light range, from 431 nm to 425 nm in the blue-violet region (Soret Band) and from 665 nm to 657 nm in the red region (Q band). The results of Zn-chlorophyll IR spectrum measurements show a shift of infrared absorption in heterocyclic amine signals,  $(C_{13}^1)=O$ ,  $(C=C)$   $(C=N)$ , secondary CN amine strain, and metal elements. Based on the results of the study, it was found that the modification of chlorophyll pigments by  $Zn^{2+}$  metal ions can increase light stability and thermal stability of chlorophyll pigments.*

**Keywords:** *light stability, metal modified chlorophyll, natural sensitizer, thermal stability, Zn-chlorophyll*

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
UCAPAN TERIMA KASIH.....	ii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1. 1 Latar Belakang .....	1
1. 2 Rumusan Masalah.....	4
1. 3 Tujuan Penelitian .....	4
1. 4 Manfaat Penelitian .....	4
1. 5 Struktur Organisasi Skripsi .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2. 1 <i>Spirulina platensis</i> .....	6
2. 2 Klorofil.....	7
2. 3 Peran Klorofil sebagai <i>Sensitizer</i> Alami .....	11
2. 4 Peningkatan Stabilitas Klorofil .....	15
2. 5 Prinsip Dasar Penentuan Karakteristik Senyawa dengan UV-Vis .....	18
2. 6 Prinsip Dasar Penentuan Karakteristik Senyawa dengan FTIR.....	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3. 1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	23
3. 2 Alat dan Bahan.....	23
3.2.1 Alat.....	23
3.2.2 Bahan.....	23
3. 3 Prosedur Penelitian .....	23
3.3.1 Karakterisasi Pigmen Klorofil dan Zn-klorofil .....	24
3.3.2 Uji Fotostabilitas Ekstrak Pigmen Klorofil, Feofitin, dan Zn-klorofil .....	27
3.3.3 Uji Stabilitas Termal Ekstrak Pigmen Klorofil, Feofitin, dan Zn- klorofil .....	27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	28
4.1 Karakteristik Ekstrak Pigmen Klorofil, Feofitin, dan Zn-klorofil .....	28
4.1.1 Karakteristik Warna Ekstrak Pigmen Klorofil, Feofitin, dan Zn-klorofil .....	28
4.1.2 Hasil Pengukuran Absorbansi Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.....	30
4.1.3 Hasil Identifikasi Gugus Fungsi Menggunakan Spektrofotometer FTIR .....	33
4.2 Sifat Stabilitas Cahaya Pigmen Klorofil Dan Zn-Klorofil.....	36
4.3 Stabilitas Termal Ekstrak Klorofil dan Zn-feofitin.....	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran .....	43
DAFTAR PUSTAKA .....	44
LAMPIRAN.....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Komposisi kandungan <i>Spirulina platensis</i> .....	7
Tabel 2. 2	Daftar bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan.....	21
Tabel 4. 1	Perbedaan puncak khas spektra UV- Vis pigmen klorofil, feofitin, dan Zn-klorofil .....	31
Tabel 4. 2	Serapan inframerah klorofil .....	35

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Morfologi <i>Spirulina platensis</i> .....	6
Gambar 2. 2 Struktur klorofil.....	9
Gambar 2. 3 Aliran elektron dari foton yang diserap pigmen pada fotosistem....	12
Gambar 2. 4 Aliran elektron nonsiklik reaksi terang .....	13
Gambar 2. 5 Aliran elektron siklik reaksi terang .....	14
Gambar 2. 6 Reaksi perubahan struktur klorofil menjadi senyawa turunannya (feofitin).....	16
Gambar 2. 7 Reaksi metalisasi logam Zn pada inti cincin klorofil.....	17
Gambar 2. 8 Tipe transisi elektronik dalam molekul organik .....	19
Gambar 3. 1 Skema penelitian.....	24
Gambar 3. 2 Alur ekstraksi klorofil.....	25
Gambar 3. 3 Alur ekstraksi feofitin .....	25
Gambar 3. 4 Alur sintesis Zn-klorofil.....	26
Gambar 4. 1 Ekstrak klorofil sebelum dan setelah pengenceran.....	28
Gambar 4. 2 Ekstrak feofitin sebelum dan setelah pengenceran .....	29
Gambar 4. 3 Ekstrak Zn-feofitin sebelum dan setelah pengenceran .....	29
Gambar 4. 4 Spektra absorbansi ekstrak pigmen klorofil, feofitin, dan Zn-klorofil dalam metanol.....	30
Gambar 4. 5 Spektra IR klorofil, feofitin, dan Zn-klorofil .....	34
Gambar 4. 6 Perubahan absorbansi maksimum daerah <i>Q band</i> pada ekstrak klorofil, dan Zn-klorofil terhadap paparan lampu UV A.....	37
Gambar 4. 7 Perubahan absorbansi maksimum daerah <i>Q band</i> pada ekstrak klorofil, dan Zn-klorofil terhadap paparan lampu UV B .....	38
Gambar 4. 8 Perubahan absorbansi maksimum daerah <i>Q band</i> pada ekstrak klorofil, dan Zn-klorofil terhadap paparan lampu kuning .....	39
Gambar 4. 9 Perubahan absorbansi maksimum daerah <i>Q band</i> pada ekstrak pigmen klorofil, dan Zn-klorofil terhadap inkubasi variasi suhu .....	41

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Data Karakterisasi.....	50
Lampiran 2 Pengamatan Stabilitas Cahaya.....	56
Lampiran 3 Pengamatan Stabilitas Termal .....	59
Lampiran 4 Dokumentasi.....	60

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, S., Uju, U., & Setyaningsih, I. (2018). Chemical Composition of *Spirulina platensis* which Cultivated in Photobioreactors with Different Photoperiodes. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(3), 471-479.
- Amao, Y. (2004). Bio-Photovoltaic Conversion Device Using Chlorine-e6 Derived from Chlorophyll of *Spirulina* Adsorbed on A Nanocrystalline TiO<sub>2</sub> Film Electrode. *Biosens. Bioelectron*, Vol. 19, hlm. 843–847.
- Anderson, I. C., & Robertson, D. S. (1960). Role of carotenoids in protecting chlorophyll from photodestruction. *Plant Physiology*, 35(4), 531.
- Arfandi, A. (2013). Proses Pembentukan Feofitin Daun Suji Sebagai Bahan Aktif Photosensitizer Akibat Pemberian Variasi Suhu. *Pillar of Physics*, 1(1).
- Arifin, Z., Soeparman, S., Widhiyanuriyawan, D., Suyitno, S., & Setyaji, A. T.,. (2018). Improving Stability Of Chlorophyll As Natural Dye For Dye-Sensitized Solar Cells. *Jurnal Teknologi*, 80(1).
- Barros, T. & Kühlbrandt, W. (2009). Crystallisation, Structure and Function of Plant Harvesting Complex II. *Biochim. Biophys. Acta*, Vol. 1787, hlm. 753–772.
- Borowitzka, M.A. (2013). High Value Products from Microalgae — Their Development and Commercialisation. *Journal Application Phycol*, Vol.25, hlm. 743–756.
- Christiana, R., Kristopo, H., & Limantara, L. (2008). Photodegradation and antioxidant activity of chlorophyll a from spirulina (*Spirulina* sp.) powder. *Indonesian Journal of Chemistry*, 8(2), 236-241.
- Christwardana, M., Nur, M. M. A., & Hadiyanto, H. (2013). *Spirulina platensis*: Potensinya sebagai bahan pangan fungsional. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 2(1).
- Clement, G. (1975). Production and characteristic constituents of the algae *Spirulina platensis* and *maxima*. In *Annales de la Nutrition et de L'alimentation* (Vol. 29, No. 6, pp. 477-488).

- Dachriyanus, D. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Sumatra Barat: LPTIK Universitas Andalas.
- Erge, T., Caamaño-Martín, E., Laukamp, H., Jantsch, M. (2008). Interaction between photovoltaic distributed generation and electricity networks. *Progress in Photovoltaics: research and applications*, 16(7), 629-643.
- Ernaini, Y., Supriadi, A., & Rinto, R. (2014). Pengaruh Jenis Pelarut Terhadap Klorofil Dan Senyawa Fitokimia Daun Kiambang (*Salvinia Molesta Mitchell*) Dari Perairan Rawa Unsri. *Jurnal Fishtech*, 1(1), 1-13.
- Fajar, A., Ibrahim, R., & Dewi, E. N. (2014). Stabilitas Ekstrak Kasar Pigmen Klorofil, Beta Karoten, Dan Caulerpin Alga Hijau (*Caulerpa Racemosa*) Pada Suhu Penyimpanan Yang Berbeda. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(1), 1-10.
- Fessenden, R.J. & J.S. Fessenden, (1991). *Kimia Organik Jilid 2, edisi ketiga*. Wadsworth: Inc Belmont.
- Fiedor, J., Fiedor, L., Kammhuber, N., Scherz, A., & Scheer, H. (2002). Photodynamics of the Bacteriochlorophyll–Carotenoid System. 2. Influence of Central Metal, Solvent and  $\beta$ -Carotene on Photobleaching of Bacteriochlorophyll Derivatives¶. *Photochemistry and photobiology*, 76(2), 145-152.
- Fromme, P., dkk. (1996). Photosystem I at 4 Å resolution represents the first structural model of a joint photosynthetic reaction centre and core antenna system. *Nature structural biology*, 3(11), 965.
- Gratzel, C. & Zakeeruddin, S.M. (2013). Recent Trends in Mesoscopic Solar Cells Based on Molecular and Nanopigment Light Harvesters. *Elsevier: Material Today*, 16 (1/2), hlm. 11 – 18.
- Hafiz, R. dkk. (2014). Pengaruh Tembaga Terhadap Kandungan Pigmen dan Pertumbuhan Mikroalga Merah *Porphyridium cruentum*. *Jurnal Ilmu Kelautan*, Vol.19 (2), hlm. 97-104.
- Harbone, J. B., & Van Sumere, C. F. (Eds.). (1975). *The Chemistry and Biochemistry of Plant Proteins: Proceedings of the Phytochem. Soc. Symposium*; Univ. of Ghent, Belgium, Sept. 1973. Acad. Press.

- Jaschke, P. R., & Beatty, J. T. (2007). The photosystem of *Rhodobacter sphaeroides* assembles with zinc bacteriochlorophyll in a bchD (magnesium chelatase) mutant. *Biochemistry*, 46(43), 12491-12500.
- Jongkon, P., Siripen, T., & Richard, D. L. (2008). The optimum N: P ratio of kitchen wastewater and oil-extracted fermented soybean water for cultivation of *Spirulina platensis*: pigment content and biomass production. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10(4), 437-441.
- Kadish, K., Smith, K. M., & Guillard, R. (2000). *The porphyrin handbook* (Vol. 3). Elsevier.
- Kang, Y. R., Park, J., Jung, S. K., & Chang, Y. H. (2018). Synthesis, characterization, and functional properties of chlorophylls, pheophytins, and Zn-pheophytins. *Food chemistry*, 245, 943-950.
- Kay, A., Humphry-Baker, R. & Grätzel, M. (1994). Artificial Photosynthesis :2 Investigations on The Mechanism of Photosensitization of Nanocrystalline TiO<sub>2</sub> Solar Cells by Chlorophyll Derivatives. *Journal Physical Chemistry*, Vol. 98, hlm. 952–959.
- Karapetyan, N. V., dkk. (1997). Fluorescence spectroscopy of the longwave chlorophylls in trimeric and monomeric photosystem I core complexes from the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Biochemistry*, 36(45), 13830-13837.
- Krauss, N., dkk. (1993). Three-dimensional structure of system I of photosynthesis at 6 Å resolution. *Nature*, 361(6410), 326-331.
- Kruip, J., dkk. (1997). Structural Organization of the Major Subunits in Cyanobacterial Photosystem 1 Localization Of Subunits PsaC,-D,-E,-F, AND-J. *Journal of Biological Chemistry*, 272(27), 17061-17069.
- Latimer, dkk. (1995). Evidence for the proximity of calcium to the manganese cluster of photosystem II: determination by X-ray absorption spectroscopy. *Biochemistry*, 34(34), 10898-10909.
- Laura, B. & Paolo, G. (2014). *Algae : Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*, Second Edition. Italy: CRC Press.

- Liu, B.-Q., Zhao, X.-P., & Luo, W. (2006). The Synergic Effect of Two Photosynthetic Pigments in Dye-Sensitized Mesoporous TiO<sub>2</sub> Solar Cells. *Dyes Pigment*, Vol. 76, hlm. 327–331.
- Liu, Z., dkk. (2004). Crystal Structure of Spinach Major Light-Harvesting Complex at 2.72 Å Resolution. *Nature*, Vol. 428, hlm. 287–292.
- Matile, P., Hörtensteiner, S., & Thomas, H. (1999). Chlorophyll degradation. *Annual review of plant biology*, 50(1), 67-95.
- McDermott, G., dkk. (1995). Crystal Structure of An Integral Membrane Light-Harvesting Complex from Photosynthetic Bacteria. *Nature*, Vol.374, hlm. 517–521.
- Muthulakshmi, M., dkk. (2012). Extraction, partial purification, and antibacterial activity of phycocyanin from Spirulina isolated from fresh water body against various human pathogens. *J. Algal Biomass Util*, 3(3), 7-11.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97-118.
- Nurachman, Z., Hartini, H., Rahmaniyah, W. R., Kurnia, D., Hidayat, R., Prijamboedi, B., Nurbaiti, S. (2015). Tropical marine Chlorella sp. PP1 as a source of photosynthetic pigments for dye-sensitized solar cells. *Algal research*, 10, 25-32.
- Nurhayati, N., & Suendo, V. (2011). Isolation of chlorophyll a from spinach leaves and modification of center ion with Zn<sup>2+</sup>: Study on its optical stability. *Jurnal Matematika dan Sains*, 16(2), 65-70.
- Ooyama, Y., & Harima, Y. (2009). Molecular designs and syntheses of organic dyes for dye-sensitized solar cells. *European Journal of Organic Chemistry*, (18), 2903-2934.
- Park, K.-H. dkk. (2013). Adsorption Characteristics of Gardenia Yellow as Natural Phosensitizer for Dye Sensitized Solar Cells. *Dyes Pigment*, Vol. 96, hlm. 595–601.
- Petrovic, J., Nikolic, G., & Markovic, D. (2006). In vitro complexes of copper and zinc with chlorophyll. *Journal-Serbian Chemical Society*, 71(5), 501.

- Richharya, G. dkk. (2017). Natural Dyes for Dye Sensitized Solar Cell : A Review. *Elsevier : Renewable and Sustainable Review*, Vol.69, hlm. 705 – 718.
- Rochmah, S.N., S. Widayati, & M. Arif. (2009) Biologi SMA/ MA Kelas XI [sitasi 20 Agustus 2019]. [online] <http://download.bse.kemdikbud.go.id/fullbook/20090904004808.pdf>.
- Romano, I., dkk. (2000). Lipid profile: a useful chemotaxonomic marker for classification of a new cyanobacterium in *Spirulina* genus. *Phytochemistry*, 54(3), 289-294.
- Saga, Y., & Tamiaki, H. (2012). Demetalation of chlorophyll pigments. *Chemistry & Biodiversity*, 9(9), 1659-1683.
- Scholes, G. D., dkk. (2011). Lessons from nature about solar light harvesting. *Nature chemistry*, 3(10), 763.
- Shi, Z., & Fu, C. (1997). Porphyrins as ligands for trace metal analysis by high-performance liquid chromatography. *Talanta*, 44(4), 593-604.
- Shubin, V. V., dkk. (1993). Trimeric forms of the photosystem I reaction center complex pre-exist in the membranes of the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *FEBS letters*, 334(1), 79-82.
- Song, A. N., & Banyo, Y. (2011). Konsentrasi klorofil daun sebagai indikator kekurangan air pada tanaman. *Jurnal ilmiah sains*, 11(2), 166-173.
- Sudjadi. (1983). *Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Suhartati, (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometri Uv-Vis dan Spektrometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Bandar Lampung: Aura.
- Takaichi, S., dkk. (1999). Nomenclature of Metal-Substituted (Bacterio)chlorophylls in Natural Photosynthesis: Metal-(bacterio)chlorophyll and M-(B) Chl. *Photosynthesis Research*, 59, 255 – 256.
- Turconi, S., dkk. (1996). A comparative fluorescence kinetics study of photosystem I monomers and trimers from *Synechocystis* PCC 6803. *Photosynthesis research*, 49(3), 263-268.
- Udiarta, P., Dewi, E. N., & Romadhon, R. (tt). Pengaruh Penambahan Mgco3 Dan Zncl2 Terhadap Stabilitas Kandungan Pigmen Klorofil Pada Mikroalga

*Spirulina platensis*. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 10(2), 114-118.

Yagui, de O.R., dkk. (2004). Chlorophyll production from *Spirulina platensis*: cultivation with urea addition by fed-batch process. *Bioresource technology*, 92(2), 133-141.

Zhou, H., dkk. (2011). Dye-Sensitized Solar Cells Using 20 Natural Dyes as Sensitizers. *Journal Photochemistry Photobiology. Applied Chemistry*, Vol. 219, hlm. 18.

Zvezdanovic, J. B., Markovic, D. Z., & Milenkovic, S. M. (2012). Zinc (II) and copper (II) complexes with pheophytin and mesoporphyrin and their stability to UV-B irradiation: Vis spectroscopy studies. *J. Serb. Chem*, 2, 187-199.

