

Studi Sintesis, Karakterisasi, dan Sifat Magnetik Senyawa Kompleks Nikel- *N,N'*-Dietiltiourea klorida

Husni Wahyu Wijaya,^{1,2*} Alfida Rahmah,¹ Meyga Evi Ferama Sari,¹ Siti Hartinah³

¹Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang 5, Malang 65145, Indonesia

²Centre of Advanced Material for Renewable Energy (CAMRY), Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang 5 Malang 65145, Indonesia

³Kimia, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia
email: husni.wahyu.fmipa@um.ac.id

Article history

Received: 14 October 2022

Received in revised form:

17 May 2023

Accepted: 30 May 2023

DOI:

10.17977/um0260v7i12023p016

Kata-kata kunci:

Sintesis kompleks,

Nikel-*detu*,

Metode sintesis,

Kompleks diamagnetic

Abstrak

Senyawa kompleks dari garam nikel dengan ligan *N,N'*-dietiltiourea (*detu*) perbandingan mol 1:4 berhasil disintesis dan dikarakterisasi dengan metode reaksi langsung dan refluks. Kompleks Ni-*detu*(DR) dan Kompleks Ni-*detu*(R) yang secara berurutan disintesis dengan metode langsung dan refluks mempunyai titik lebur 159-161°C dan 114-116°C. Analisis data FT-IR kedua sampel menunjukkan ikatan $\nu(\text{N-H})$ Ni-*detu* berada pada rentang 3233-3235 cm^{-1} , $\nu(\text{C-H})$ 2964-2974 cm^{-1} , $\nu(\text{C-N})$ 1562-1579 cm^{-1} , dan $\nu(\text{C=S})$ 646-653 cm^{-1} . Analisis refinement data XRD diperoleh R_{wp} sebesar 11,63% menunjukkan senyawa yang terbentuk mempunyai kemiripan struktur dengan senyawa kompleks $[\text{Ni}(\text{detu})_4]\text{Cl}_2$. Hasil pengukuran VSM pada kompleks hasil sintesis Ni-*detu*(DR) dan Ni-*detu*(R) menunjukkan keduanya bersifat diamagnetik.

Abstract

Complex compounds of between nickel and *N,N'*-dietiltiourea (*detu*) with mol ratio 1:4 were successfully synthesized using direct synthesis and reflux methods. Ni-*detu*(DR) and Ni-*detu*(R) samples which were obtained using direct synthesis and reflux methods melted at 159-161°C dan 114-116°C, respectively. Analyzing FTIR of both samples indicated $\nu(\text{N-H})$ bonds in the range of 3233-3235 cm^{-1} , $\nu(\text{C-H})$ 2964-2974 cm^{-1} , $\nu(\text{C-N})$ 1562-1579 cm^{-1} , $\nu(\text{C=S})$ 646-653 cm^{-1} . Refinement of Ni-*detu*(DR) samples using generated XRD of reported CIF files gave R_{wp} of 11.63% proposed that the formula is $[\text{Ni}(\text{detu})_4]\text{Cl}_2$. The VSM measurements concluded that both samples were diamagnetic complexes.

PENDAHULUAN

Senyawa kompleks *detu* dengan atom pusat logam transisi banyak diaplikasikan sebagai sensor optik terutama sebagai sensor anion yang mampu mendeteksi keberadaan dari ion-ion logam seperti Mn^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+} (Mohapatra et al., 2019). Ligan *detu* dapat membentuk kompleks yang stabil saat berikatan dengan kation Ni^{2+} karena atom S dapat memberikan stabilitas besar. Kestabilan kompleks Ni^{2+} disebabkan karena adanya sifat ligan *detu* yang lunak sehingga membentuk kompleks yang stabil dengan asam

lunak dari kation Ni^{2+} (Del Campo et al., 2002) serta energi stabilisasi medan kristal dari ion Ni^{2+} yang mampu megimbangi sebagian destabilisasi karena adanya halangan sterik (Puglisi & Levitus, 1967). Kompleks dari garam nikel(II) klorida heksahidrat dengan ligan *detu* menarik untuk diteliti karena sedikit kompleks yang disintesis serta belum ditemukan penelitian terbaru mengenai karakterisasi strukturnya. Penambahan anion tungstat pada kompleks nikel dengan ligan *detu* belum pernah dilakukan sebelumnya. Senyawa kompleks nikel yang pernah diteliti banyak digunakan sebagai material penting untuk baterai lithium (Al-Omar et al., 2017), reaksi

katalitik (Jhung et al., 2006) dan reaksi elektrokatalitik (Zhan et al., 2016).

Kompleks $[\text{Ni}(\text{tu})_6](\text{NO}_3)_2$ yang merupakan kristal monoklinik kelompok ruang $C2/c$ dan memiliki geometri oktahedral (Muthu & Meenakashisundaram, 2012). Sintesis kompleks dengan ion nikel yaitu bis(N,N -di- n -propil- N' -4 fluorobenzoiltiourea)nikel(II) dengan sistem kristal triklinik dan termasuk kelompok ruang $P-1$ (Arslan et al., 2013). Contoh lainnya yaitu sintesis kompleks nikel(II) dengan ligan N -furoyl- N',N' -dietiltiourea atau dengan nama senyawa *cis-bis*(N -furoyl- N',N' -dietiltiourea- k^2O,S)nikel(II) termasuk ligan bidentat menghasilkan kompleks molekular dengan geometri *square planar* (Pérez et al., 2011). Kompleks Cd(II) dengan ligan metiltiourea (*metu*) yaitu $[\text{Cd}(\text{metu})_2(\text{NCS})_2]_n$ mengkristal dalam kelompok ruang $P-1$. Senyawa $[\text{Cd}(\text{metu})_2(\text{CN})_2]$ mengkristal dalam gugus ruang $C2/c$ dan memiliki geometri tetrahedral terdistorsi (Ahmad et al., 2017).

Kompleks dari garam nikel(II) klorida heksahidrat dan ligan *detu* dengan perbandingan 1:6 pernah dilaporkan oleh Alfurayj, dkk (2016) menunjukkan bahwa logam Ni sebagai atom pusat berkoordinasi dengan 4 atom S dari ligan *detu* sebagai atom donor yang memberikan PEB terhadap logam Ni dan 2 atom Cl tidak berikatan langsung dengan atom pusat sesuai dengan struktur kompleks $[\text{Ni}(\text{detu})_4]\text{Cl}_2$ yang telah dilaporkan sebelumnya (Ajibade et al., 2013) dengan bilangan koordinasi 4 geometri *square planar* dan kelompok ruang $P21/n$. Sintesis kompleks M-*detu* (M = Cd(II) dan Co(II) dengan metode refluks dengan perbandingan M : *detu* = 1:4 diprediksikan sebagai kompleks ionik dengan 4 ligan *detu* yang terikat pada atom pusat dan ion klorida sebagai anion pengimbang (Mega Wahyuni et al., 2022). Studi ini fokus pada (1) sintesis kompleks dari garam Nikel(II)-*detu* dengan perbandingan mol Ni(II) : *detu* adalah 1 : 4 melalui metode reaksi langsung dan refluks dan (2) karakterisasi sifat magnetik keduanya yang belum dilaporkan pada penelitian sebelumnya.

METODE

Bahan dan Instrumentasi

Bahan prekursor yang digunakan dalam penelitian yaitu: $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck; p.a), *detu* (Merck; p.a), n -butanol (Merck; p.a), metanol (Merck; p.a). Instrumen untuk analisis antara lain

alat ukur titik lebur (Fisher Scientific), Konduktometer (Eutech CyberScan 400), FT-IR (Shimadzu IRPrestige 21), XRD (Rigaku Miniflex 600) dan VSM (Physical Properties Measurement System Quantum Design PPMS® VersaLab™ Cryogen-free 3 Tesla).

PROSEDUR PENELITIAN

Sintesis Kompleks dengan Metode Langsung

Pada suhu kamar, ligan N,N' -dietiltiourea (2,2049 g, 16,67 mmol) dilarutkan dalam n -butanol (25 mL) lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam dan $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,9983 g, 4,2 mmol) ditambahkan ke dalam larutan sambil diaduk sampai larut selama 1 jam. Kemudian dibiarkan 24 jam sehingga terbentuk endapan hijau dan filtrat diuapkan perlahan hingga terbentuk kristal Ni-*detu*(DR) yang diberikan pada Gambar S1. Karakterisasi senyawa kompleks meliputi uji kualitatif ion klorida, uji titik lebur, uji daya hantar listrik (DHL), FT-IR, XRD dan VSM. Karakterisasi sampel Ni-*detu*(DR) meliputi uji kualitatif ion klorida, uji titik lebur, uji daya hantar listrik (DHL), FT-IR, XRD, dan VSM.

Sintesis Senyawa Kompleks Metode Refluks

Pada suhu kamar, padatan N,N' -dietiltiourea (2,2049 g, 16,67 mmol) dilarutkan ke dalam metanol (12,5 mL) menggunakan pengaduk magnet selama 1 jam. Kemudian dimasukkan tetes demi tetes larutan $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,9983 g, 4,2 mmol) yang sudah dilarutkan dalam metanol (12,5 mL) lalu direfluks selama 2 jam pada suhu 60°C . Setelah direfluks, larutan disaring dan diuapkan dengan sangat perlahan pada suhu ruang hingga sampai membentuk kristal Ni-*detu*(R) yang diberikan pada Gambar S2. Karakterisasi senyawa Ni-*detu*(R) meliputi uji kualitatif ion klorida, uji titik lebur, uji daya hantar listrik (DHL), FT-IR, XRD, dan VSM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji kualitatif ion klorida menggunakan larutan AgNO_3 yang sesuai standar dilarutkan dalam akuades menghasilkan endapan AgCl sebagaimana diberikan pada Gambar S3 dan S4. Hasil positif mengandung anion klorida apabila menghasilkan endapan putih, hal itu terbukti dengan adanya endapan putih yang dihasilkan saat kompleks Ni-*detu*(DR) yaitu $[\text{Ni}(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}_2\text{S})_4]\text{Cl}_2$. Adanya endapan putih pada senyawa Ni-*detu*(DR) mengindikasikan bahwa

kompleks bersifat ionik karena mengandung anion Cl⁻.

Karakterisasi melalui uji titik lebur prekursor dengan kompleks hasil sintesis diberikan pada Tabel 1. Dari data tabel di bawah ini senyawa Ni-*detu*(DR) menghasilkan nilai titik lebur dekat dengan prekursornya yaitu NiCl₂·6H₂O yang mengarah pada pembentukan kompleks ionik. Titik lebur sampel Ni-*detu*(R) hasil sintesis dengan metode refluks memiliki rentang jauh dengan titik lebur prekursornya sehingga kedua sampel Ni-*detu*(DR) dan Ni-*detu*(R) merupakan senyawa yang berbeda.

Tabel 1. Data Pengamatan Titik Lebur

Senyawa	Merck (°C)	Hasil pengukuran (°C)
<i>detu</i> (C ₅ H ₁₂ N ₂ S)	76	68-71*
NiCl ₂ ·6H ₂ O	140	144
Na ₂ WO ₄ ·2H ₂ O	698	>300
Ni- <i>detu</i> (DR)	141,85	159-161
Ni- <i>detu</i> (R)	141,85	114-116

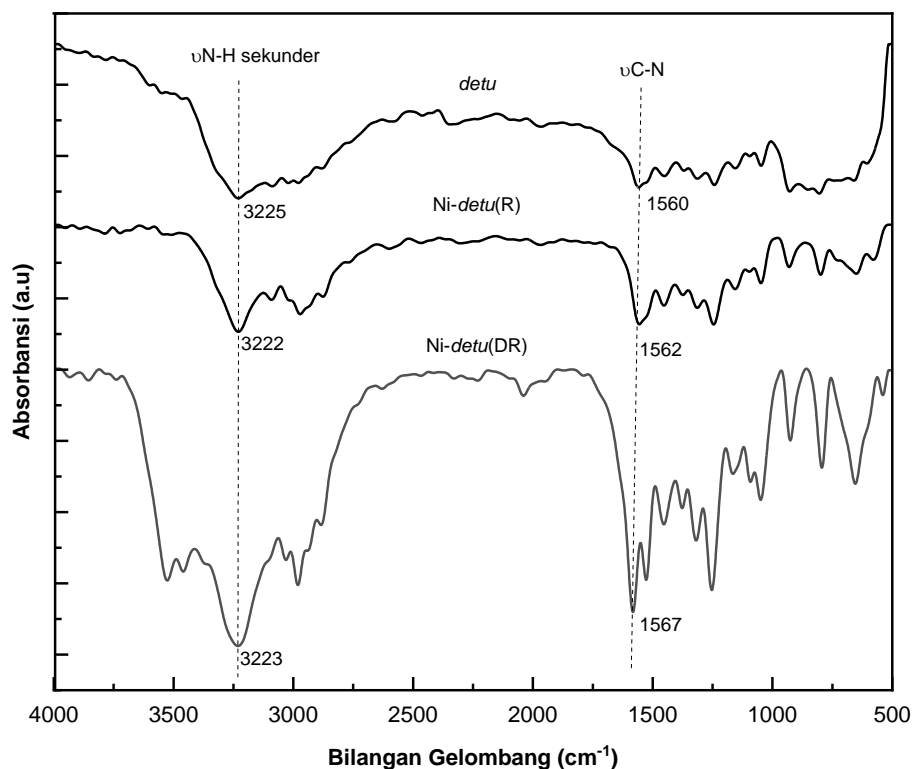
Pengukuran konduktivitas listrik atau daya hantar listrik untuk mengetahui sifat suatu kompleks termasuk molekular atau ionik yang ditunjukkan pada Tabel 2. Data pengukuran ini mengindikasikan bahwa sample Ni-*detu*(DR) diprediksikan sebagai senyawa ionik karena nilai konduktivitasnya mendekati nilai konduktivitas garamnya yaitu NiCl₂. Sedangkan sampel Ni-*detu*(R) memiliki kecenderungan ke arah kompleks molekular karena nilai konduktivitasnya mendekati nilai konduktivitas pelarut metanol.

Tabel 2. Data Daya Hantar Listrik

Senyawa	Konduktivitas Listrik (μS) dalam konsentrasi 1,00 mg/mL pada sampel	
	Ni- <i>detu</i> (DR)	Ni- <i>detu</i> (R)
NiCl ₂	1790	885
<i>detu</i>	4,63	4,28
<i>n</i> -butanol	1,36	-
Metanol	-	4,57
Sampel	724	14,61

Hasil uji FTIR dari ligan *detu* serta senyawa kompleks yang disintesis ditunjukkan pada Gambar 1 kemudian ditabelkan pada Tabel 3. Pergeseran frekuensi rendah pada pita ν(C=S) dan pergeseran frekuensi tinggi pada pita ν(N-H) menunjukkan adanya thione dari *detu* (Wahyuni, 2021). Ikatan ν(N-H) sekunder ligan *detu* teramati pada bilangan gelombang sekitar 3225-3435 cm⁻¹. Pita ν(N-H) sekunder pada ligan *detu* lebih lebar yang disebabkan adanya ikatan hidrogen intramolekul (Ahmad et al., 2012) dan interaksi tersebut hilang ketika telah membentuk kompleks. Sedangkan pita yang terbentuk pada bilangan gelombang sekitar 2875-2971 cm⁻¹ menunjukkan munculnya ν(C-H) dari gugus metil dari *detu* yaitu -CH₃ dan -CH₂-. Ikatan ν(C-N) terjadi pergeseran menuju bilangan gelombang yang lebih besar akibat perubahan struktur molekul antara *detu* sebelum dengan sesudah membentuk kompleks. Pergeseran pita ν(C-N) pada bilangan gelombang yang lebih besar disebabkan perubahan struktur molekul antara *detu* sebelum dengan sesudah membentuk kompleks. Pergeseran pita ν(C=S) yang sangat menonjol pada kompleks lain terjadi ke bilangan gelombang yang lebih kecil yang disebabkan adanya penurunan karakter ikatan rangkap C=S akibat koordinasi atom S ke atom pusat Ni.

Data karakterisasi XRD berupa difraktogram yang dihasilkan berupa puncak tajam kemudian dibandingkan dengan data XRD *database* seperti yang ditampilkan pada Gambar 2 (a). Difraktogram [Ni(*detu*)₄]Cl₂ yang pernah disintesis sebelumnya menunjukkan kemiripan 2θ dengan kompleks Ni-*detu*(DR) tetapi berbeda Ni-*detu*(R). Nilai 2θ dari Ni-*detu*(DR) yang mirip yaitu 5,8; 10; 11,5; 16,8; 21; 23; dan 24. Hasil refinement dengan *software* Rietica menghasilkan *Rp* 7,89 dan *Rwp* 11,63 dengan hasil refinemen diberikan pada Gambar 2 (b). Hal ini menunjukkan bahwa kompleks Ni-*detu*(DR) adalah kompleks ionik [Ni(*detu*)₄]Cl₂. Hasil karakterisasi untuk Ni-*detu*(R) yang disintesis dengan metode refluks mempunyai komponen yang sama tetapi memiliki perbedaan orientasi dan jumlah ligan yang terkoordinasi pada atom pusat nikel(II).



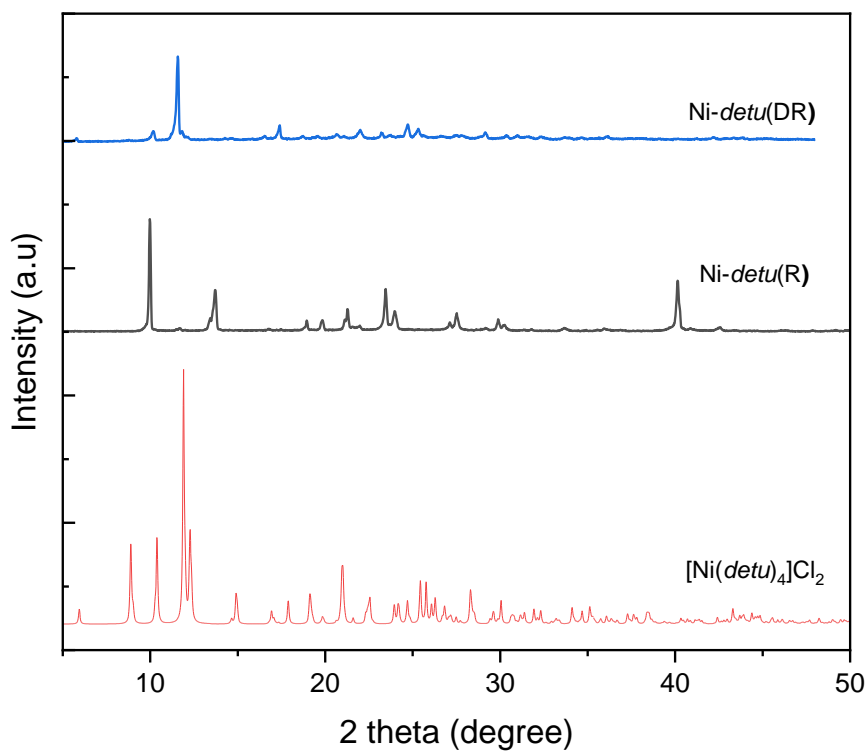
Gambar 1. Spektra FTIR dari ligan dan senyawa kompleks hasil sintesis

Tabel 3. Data Frekuensi FTIR detu dan senyawa kompleks hasil sintesis

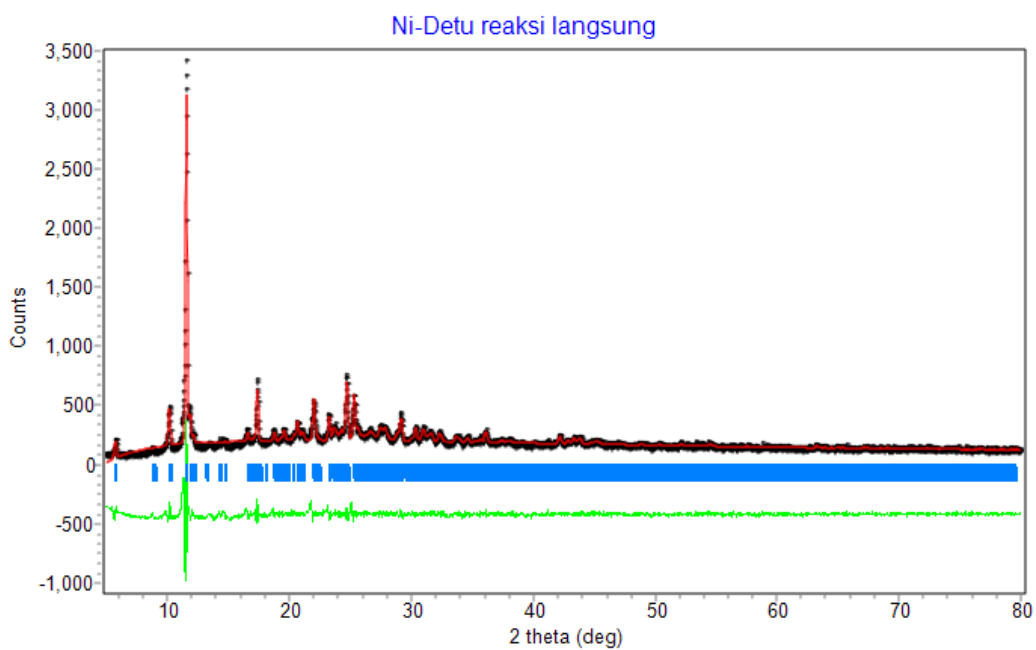
Jenis vibrasi	Frekuensi IR (cm ⁻¹)			
	<i>detu</i>	<i>Ni(detu)₄Cl₂</i> (Alfurayj et al., 2016)	<i>Ni-detu</i> (DR)	<i>Ni-detu</i> (R)
ν(N-H)	3225	3199 dan 3222	3233	3235
ν(C-H)	2875	2971	2964	2974
ν(C-N)	1560	1578	1562	1579

Analisis hasil uji *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) digunakan untuk mengetahui sifat kemagnetan yang ditampilkan berupa kurva magnetisasi (Lopez-Dominguez et al., 2018). Pengukuran VSM dilakukan pada struktur senyawa kompleks yang disintesis untuk membandingkan sampel yang diuji dengan sifat kemagnetannya pada temperatur ruang (Manikandan et al., 2013). Gambar 3 merupakan hasil pengukuran VSM masing-masing kompleks dengan dua metode. Kompleks (a) dan (c) mempunyai perilaku magnet yang anomali. Menurut (Alfurayj et al., 2016) kompleks ini bersifat diamagnetik ($S=0$) dan berubah

paramagnetik ($S=1$) pada suhu yang lebih tinggi disebabkan adanya kondisi *spin crossover* pada ion nikel(II). Namun, jika dilihat dari kurva VSM terlihat dari kurva bahwa nilai magnetisasinya kearah negatif berlawanan dengan paramagnetik sehingga kompleks ini cenderung bersifat diamagnetik. Senyawa kompleks berbasis logam nikel dengan ligan organometalik memiliki sifat diamagnetik sehingga mampu menginduksi medan magnet di bawah pengaruh medan luar dengan arah yang berlawanan sehingga ditolak oleh magnet eksternal (Yousef et al., 2021).

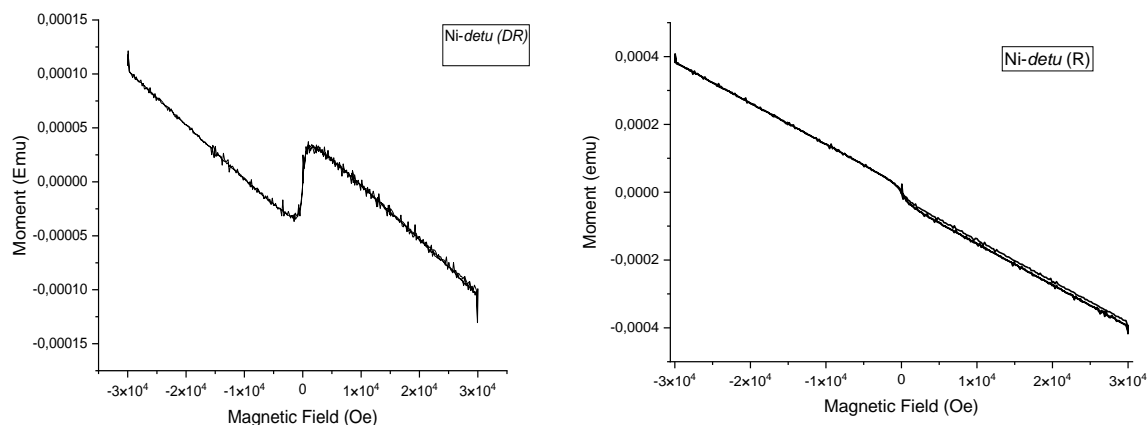


(a)



(b)

Gambar 2. (a) Difraktogram XRD dari database dan kompleks hasil sintesis; (b) Hasil analisis refinement menggunakan software Rietica dari Ni-detu(R)



Gambar 3. Kurva hasil pengukuran VSM pada temperatur ruang.

KESIMPULAN

Sintesis senyawa kompleks kompleks antara $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan N,N' -diethylthiourea (*detu*) berhasil disintesis dengan metode yaitu *direct synthesis* dan refluks. Reaksi langsung (*direct synthesis*) dengan pelarut *n*-butanol mengkristal sebagai $\text{Ni-detu}(\text{DR})$ dengan struktur $[\text{Ni}(\text{detu})_4]\text{Cl}_2$ yang cenderung bersifat diamagnetik pada suhu ruang. Sintesis dengan metode refluks menggunakan pelarut metanol cenderung molekular dan bersifat diamagnetik pada suhu ruang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S., Amir, Q., Naz, G., Fazal, A., Fettouhi, M., Isab, A. A., Ruffer, T., & Lang, H. (2012). Synthesis and crystal structures of cadmium iodide complexes of N,N' -diethylthiourea and 1,3-diazinane-2-thione. *Journal of Chemical Crystallography*, 42(6), 615–620. <https://doi.org/10.1007/s10870-012-0291-z>
- Ahmad, S., Fettouhi, M., Roisnel, T., Alotaibi, M. A., Alharthi, A. I., Malik, M. R., Ahmad, I., & Isab, A. A. (2017). Structural diversity in pseudohalide complexes of cadmium(II) with *N*-methylthiourea (Metu): Polymeric $[\text{Cd}(\text{Metu})_2(\text{NCS})_2]_n$ versus monomeric $[\text{Cd}(\text{Metu})_2(\text{CN})_2]$. *Journal of Coordination Chemistry*, 70(21), 3692–3701. <https://doi.org/10.1080/00958972.2017.1398824>
- Ajibade, P. A., Zulu, N. H., & Oyedeji, A. O. (2013). Synthesis, Characterization, and Antibacterial Studies of Some Metal Complexes of Dialkyl Thiourea: The X-Ray Single Crystal Structure of $[\text{CoCl}_2(\text{detu})_2]$. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 43(5), 524–531. <https://doi.org/10.1080/15533174.2012.741179>
- Al-Omar, M. A., Touny, A. H., & Saleh, M. M. (2017). Reflux-based synthesis and electrocatalytic characteristics of nickel phosphate nanoparticles. *Journal of Power Sources*, 342, 1032–1039. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.09.079>
- Alfurayj, I. A., Young, V. G., & Jensen, M. P. (2016). Structural Characterization of Thermo-chromic and Spin Equilibria in Solid-State $\text{Ni}(\text{detu})_4\text{Cl}_2$ (*detu* = N,N' -Diethylthiourea). *Inorganic Chemistry*, 55(4), 1469–1479. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.5b02203>
- Arslan, H., Binzet, G., Kavak, G., Kulcu, N., Ozbey, S., & Florke, U. (2013). Synthesis and Characterization of Novel Thiourea Derivatives and Their Nickel and Copper Complexes. *Journal of Chemistry*, 2013(II), 816–819.
- Del Campo, R., Criado, J. J., García, E., Hermosa, M. R., Jiménez-Sánchez, A., Manzano, J. L., Monte, E., Rodríguez-Fernández, E., & Sanz, F. (2002). Thiourea derivatives and their nickel(II) and platinum(II) complexes: Antifungal activity. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 89(1–2), 74–82. [https://doi.org/10.1016/S0162-0134\(01\)00408-1](https://doi.org/10.1016/S0162-0134(01)00408-1)
- Jhung, S. H., Lee, J. H., Cheetham, A. K., Férey,

- G., & Chang, J. S. (2006). A shape-selective catalyst for epoxidation of cyclic olefins: The nanoporous nickel phosphate VSB-5. *Journal of Catalysis*, 239(1), 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2006.01.020>
- Lopez-Dominguez, V., Quesada, A., Guzmán-Mínguez, J. C., Moreno, L., Lere, M., Spottorno, J., Giacomone, F., Fernández, J. F., Hernando, A., & García, M. A. (2018). A simple vibrating sample magnetometer for macroscopic samples. *Review of Scientific Instruments*, 89(3). <https://doi.org/10.1063/1.5017708>
- Manikandan, A., Judith Vijaya, J., & John Kennedy, L. (2013). Comparative investigation of NiO nano- and microstructures for structural, optical and magnetic properties. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 49, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2013.02.013>
- Mega Wahyuni, R., Wahyu Wijaya, H., Evi Ferama Sari, M., Wayan Dasna, I., & Farida, N. (2022). Synthesis and Characterization of Complex Compounds from Cadmium(II) Chloride and Cobalt(II) Chloride with N,N'-Diethylthiourea. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.21776/ub.jpacr.2022.011.01.640>
- Mohapatra, R. K., Das, P. K., Pradhan, M. K., El-Ajaily, M. M., Das, D., Salem, H. F., Mahanta, U., Badhei, G., Parhi, P. K., Maihub, A. A., & E-Zahan, M. K. (2019). Recent Advances in Urea- and Thiourea-Based Metal Complexes: Biological, Sensor, Optical, and Corrosion Inhibition Studies. *Comments on Inorganic Chemistry*, 39(3), 127–187. <https://doi.org/10.1080/02603594.2019.1594204>
- Muthu, K., & Meenakashisundaram, S. P. (2012). Growth and characterization of Hexakis(thiourea)nickel(II) nitrate crystals. *Journal of Crystal Growth*, 352(1), 158–162. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2012.01.024>
- Pérez, H., O'Reilly, B., Plutín, A. M., Martínez, R., Durán, R., Collado, I. G., & Mascarenhas, Y. P. (2011). Synthesis, characterization, and crystal structure of Ni(II) and Cu(II) complexes with N-furoyl-N', N'-diethylthiourea: antifungal activity. *Journal of Coordination Chemistry*, 64(16), 2890–2898. <https://doi.org/10.1080/00958972.2011.608426>
- Puglisi, C., & Levitus, R. (1967). Some substituted thiourea complexes of nickel (II) thiocyanate. *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, 29(4), 1069–1077. [https://doi.org/10.1016/0022-1902\(67\)80091-5](https://doi.org/10.1016/0022-1902(67)80091-5)
- Wahyuni, R. M. (2021). *SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS IONIK DARI KADMIUM DIKLORIDA DENGAN N,N'-DIETILTIOUREA*. <https://doi.org/10.14710/jksa.19.3.94-98>
- Yousef, R. I., Mahmoud, N. F. H., El-Hosiny, F. I., Kühn, F. E., & Bassioni, G. (2021). Electric and magnetic properties of cobalt, copper and nickel organometallic complexes for molecular wires. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(2), 2135–2144. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.12.002>
- Zhan, Y., Lu, M., Yang, S., Xu, C., Liu, Z., & Lee, J. Y. (2016). Activity of transition-metal (manganese, iron, cobalt, and nickel) phosphates for oxygen electrocatalysis in alkaline solution. *ChemCatChem*, 8(2), 372–379. <https://doi.org/10.1002/cctc.201500952>