e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

APLIKASI KIMIA KOORDINASI DALAM KATALISIS UNTUK TREN SAAT INI DAN ARAH MASA DEPAN: TINJAUAN

Reza Meilinda, Putri Amelia Ningsih, Dian Anggraini, Hilfi Pardi*
Department Pendidikan Kimia, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, 29124, Indonesia
*Email: hilfipardi@umrah.ac.id

Abstrak

Dunia terus mengalami kemajuan yang semakin pesat setiap tahunnya dalam berbagai bidang, baik dalam bidang kesehatan, industri, katalisis, pertanian, farmasi maupun bidang-bidang lainnya. Pada dasarnya kimia merupakan salah satu ilmu yang berperan dalam kemajuan teknologi pada tren saat ini dan arah masa depan dunia. Kimia koordinasi (kimia kompleks) adalah salah satu ilmu kimia yang banyak digunakan dalam penelitian untuk menghasilkan suatu teknologi baru yang akan berguna bagi masa depan dunia. Tulisan ini dibuat dengan tujuan untuk meringkas penelitian terdahulu yang telah dilakukan agar mempermudah pembaca dan untuk menambah wawasan tentang aplikasi kimia koordinasi dalam katalisis untuk tren saat ini dan arah masa depan. Tinjauan penelitian ini menggunakan metode komperatif dengan mengumpulkan berbagai sumber menggunakan database dari *google scholar* dan *pubmed* baik jurnal nasional maupun internasional. Hasil penelitian menujukkan bahwa prinsip kimia koordinasi dalam katalisis sangat banyak digunakan dalam penelitian untuk menciptakan teknologi baru yang menjanjikan untuk masa sekarang dan masa yang akan datang.

Kata Kunci: *kimia koordinasi, katalisis, tren saat ini, masa depan.*

Abstract

The world continues to experience progress which is increasing rapidly every year in various fields, both in the fields of health, industry, catalysis, agriculture, pharmaceuticals and other fields. Basically chemistry is one of the sciences that plays a role in technological progress in the current trend and the future direction of the world. Coordination chemistry (complex chemistry) is one of the chemistry that is widely used in research to produce a new technology that will be useful for the future of the world. This paper was created with the aim of summarizing the previous research that has been done to make it easier for the reader and to add insight into the application of coordination chemistry in catalysis for current trends and future directions. This research review uses a comparative method by collecting various sources using databases from Google Scholar and PubMed, both national and international journals. The results of the research indicate that the principle of coordination chemistry in catalysis is very widely used in research to create promising new technologies for the present and the future.

Keywords: *coordination chemistry, catalysis, current trends, future.*

PENDAHULUAN

Kimia koordinasi atau biasa dikenal dengan sebutan kimia kompleks adalah bidang kimia yang mendalami pembentukan senyawa melalui pembentukan ikatan kovalen terkoordinasi antara logam/partikel logam dan spesies, yang bisa berbentuk partikel/molekul netral. Ikatan kovalen koordinat terjadi apabila spesies basa Lewis menyumbangkan sepasang elektron ke spesies asam Lewis. Ini merupakan alasan mengapa dinamakan "kimia koordinasi", oleh beberapa ahli kimia didefinisikan dengan studi yang berhubungan dengan pembentukan senyawa asam Lewis dan basa Lewis. Bila mengacu pada artikel internasional, senyawa kompleks lebih sering digunakan daripada senyawa koordinat.

Kimia kompleks bersama senyawa kompleksnya merupakan objek yang penting dan selaku bagian dari kehidupan manusia

e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

dalam berbagai arah kehidupan, mulai dari nutrisi yang dibutuhkan sampai aktivitas penambangan. Oleh sebab itu, konsep kimia senyawa kompleks bisa dengan gampang dimanfaatkan dalam beragam aplikasi industri seperti industri pemurnian logam, fotografi, dan pertambangan. Dalam bidang farmasi, senyawa kompleks tertentu dipercaya mempunyai potensi dan bahkan dapat digunakan sebagai obat anti kanker.

Kimia koordinasi tidak hanya berperan dalam kesehatan dan pertambangan, tetapi juga berperan dalam katalisis yang sangat berguna untuk perubahan dunia di masa depan. Oleh karena itu, review ini dibuat untuk membahas penerapan ilmu kimia industri dalam bidang katalisis untuk tren saat ini dan masa depan.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada metode penelitian yang diperlukan dalam pembuatan review jurnal ini adalah dengan metode komparatif/perbandingan, yaitu dengan cara mengumpulkan beragam sumber yang diperoleh dari jurnal penelitian. Arikel yang digunakan dimanfaatkan untuk mencari teori-teori yang sesuai dengan topik yang diangkat. Pencarian jurnal penelitian mulai dari 10 tahun terakhir, berbahasa Indonesia dan bahasa inggris atau jurnal nasional maupun jurnal internasional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil review artikel memuat tentang aplikasi kimia koordinasi dalam katalisis yang bermanfaat bagi masa sekarang dan masa depan menggunakan berbagai metode. Berikut adalah hasil penelitian terdahulu yang dicantumkan pada tabel 1.

Tabel 1. Manfaat penelitian mengenai aplikasi kimia koordinasi untuk tren saat ini dan arah masa depan.

No	Metode Penelitian	Manfaat Penelitian	Referensi
1.	Metode Cracking Hydrocracking	Menghasilkan bahan bakar alternatif untuk masa mendatang	(Wafi & Budianto, 2022)
2.	Metode Hidroborasi, Borilasi, Aktivasi C-H, Reaksi Kopling, dan Karbometalasi	Sintesis molekul kompleks dengan beragam aplikasi	(Corpas et al., 2021)
3.	Metode Elektrokimia	Mengkatalisasi perkembangan masa depan dalam sintesis organik	(Malapit et al., 2016)
4.	Metode Katalisis Kooperatif	Digunakan dalam protokol sintetik yang ramah lingkungan dalam waktu dekat	(Rej et al., 2021)
5.	Metode Reaksi penggandengan silang dan Hidrogenasi	Memperluas repertoar reaksi dengan permukaan logam yang aktif secara katalitik, dengan memanfaatkan keragaman struktural NHC	(Koy et al., 2021)
6.	Metode MLC, MLC Aktif Redoks, Katalis Berdasarkan Ligan Responsif Proton, dan Katalis yang Melibatkan Ligan Triphos.	Pengembangan teknologi energi berkelanjutan dan membuka jalan bagi masa depan energi yang lebih bersih dan berkelanjutan	(Kumar et al., 2022)

No	Metode Penelitian	Manfaat Penelitian	Referensi
7.	Metode Desain dan Sintesis Ligan, Studi In Vivo dan In Vitro	Pengembangan terapi berbasis opioid yang lebih efektif dan lebih aman, mengatasi tantangan yang terkait dengan nyeri dan kecanduan opioid	(Che et al., 2021)
8.	Fungsionalisasi C-H Elektrokatalitik, Reaksi Oksidasi dan Reduksi Elektrokimia, Reaksi Kopling Silang Elektrokimia, Pembentukan Ikatan Elektrokimia C-C dan C-X, Katalisis Elektrokimia Asimetris, dan Elektrokimia Aliran	Menginspirasi pekerjaan di masa depan pada katalisis homogen elektrokimia	(Cheng et al., 2022)
9.	Metode Desain Katalis, Strategi Kompartementalisasi, Kompatibilitas Substrat dan Rectant, Optimalisasi Reaksi, Reaksi Kaskade Berurutan, Daur Ulang dan Pemulihan Katalis, Karakterisasi dan Analisis	Panduan untuk merancang dukungan katalitik di masa depan	(Qu et al., 2021)
10.	Metode Desain katalis, Aktivasi CO2, Reaksi konversi CO2, Stabilitas dan daya tahan katalis, dan Rekayasa reaksi dan optimisasi proses	Valorisasi CO2 dalam menurunkan bahan kimia dan bahan bakar baru terbarukan	(De et al., 2020)
11.	Metode ML dan Metode SSW-NN	Mendorong pengembangan baru teknologi untuk masa depan yang menarik	(Ma & Liu, 2020)
12.	Metode Prinsip Desain dan Sistem Katalitik	Mengembangkan nanoreaktor yang dapat melampaui aktivitas, selektivitas, dan daya tahan katalis molekuler	(Guo & Jiang, 2020)
13.	Metode Katalisis dalam Substitusi Nukleofilik, Basa Lewis Mengkatalisis Substitusi Nukleofilik, Inversi Stereokimia dan Metrik Hijau, Katalisis Fosfor Oksida, Siklopropenon dan Katalisis Tropon, Katalisis Formamida, Katalisis Sulfoksida, Katalisis Fospan, dan Basa Lewis Substitusi Nukleofilik	Sebagai capaian di bidang katalisis basa Lewis tipe SN	(Huy, 2020)

No	Metode Penelitian	Manfaat Penelitian	Referensi
14.	Metode Seleksi Jamur, Pretreatment Katalis Bekas, Proses Inokulasi dan Leaching, Ekstraksi dan Pemulihan Logam, Pemantauan dan Optimalisasi, dan Pertimbangan Lingkungan	Mengembangkan proses bioleaching yang efektif untuk masa depan	(Pathak et al., 2021)
15.	Metode Oksidasi Kimia dan Peningkatan Katalitik	Pengembangan sistem oksidatif yang memungkinkan konversi lignin yang aman dan berkelanjutan	(Vangeel et al., 2018)
16.	Metode Sel Pv-Ec yang Menggunakan Teknologi Sel Aliran Gas-Fed	Gambaran yang komprehensif solar-heterogen perangkat elektrokimia yang digerakkan untuk CO2R dengan fokus pada kemajuan baru yang signifikan dan memberikan arahan di masa mendatang penelitian dalam pengurangan CO2 yang digerakkan oleh matahari	(Creissen & Fontecave, 2021)
17.	Metode In Vitro dan In Vivo	Senyawa koordinasi menghasilkan obat terapeutik yang mampu mengobati kanker yang resisten terhadap obat berbasis Pt di masa depan	(Pessoa & Correia, 2019)
18.	Metode Reaksi Transfer Atom dan Penyerapan Sinar-X dan ESI-MS	Penelitian ini sangat penting untuk peran katalis homogen berbasis tembaga dalam kimia koordinasi di masa mendatang	(Zerk & Bernhardt, 2018)
19.	Metode Spektroskopi Serapan Sinar-X (XAS), (EXAFS), dan (XANES)	Membangun tren terbaru dalam komunitas katalisis komputasi	(Rana, Rachita Fernando D. Vila, 2023)
20.	M(Bpy)/M(Phen) Berbasis MOF	Kemajuan penelitian terbaru dengan menggabungkan aktivitas menarik dari katalis homogen dengan heterogenetik dari bahan inang	(Feng et al., 2021)
21.	Metode Sintesis NP Bimetal, Hidrotermal/Solvotermal, Mandi Minyak, Pengendapan-pengendapan, Fotodeposisi, Reduksi Kimia, dan Sputtering-Dewetting	Perspektif masa depan untuk pemanfaatan NP bimetal dalam fotoredoks katalisis dalam pembangunan tinggi efisiensi semikonduktor / sistem fotokatalitik berbasis NP bimetal	(Li et al., 2021)
22.	Metode Interdisipliner Menggabungkan Biokatalisis dan Elektrokatalisis	Perkembangan masa depan dan perspektif bioelektrokatalisis	(Chen et al., 2020)

No	Metode Penelitian	Manfaat Penelitian	Referensi
23.	Metode GC-MS dan Analisis.	Biodiesel sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui dimasa depan	(Norvia et al., 2016)
24.	Metode Penelitian Eksperimental	Paving block rsmsh lingkungsn dengan harga terjangkau	(Pratama et al., 2019)
25.	Metode Enkapsulasi (Penempelan) NP Au Pra-Sintesis ke dalam Pori-pori (di Permukaan) MOF dan Pertumbuhan Langsung MOF di Permukaan Au NP	Bahan hibrida telah menjadi struktur nano yang menjanjikan untuk beberapa aplikasi, terutama dalam katalisis penginderaan	(Sanchis-Gual et al., 2023)
26.	Menggunakan Metode Analisis GC	Sifat khusus dari N-Heterosiklik karbo- nes (NHCs) berasal dari garam triazolium dan imidazolium membuka era lain untuk pengembangan berbagai molekul kompleks dan sangat baik untuk sintesis organik	(Vaishya et al., 2021)
27.	Metode Spektrometri Massa	Membantu dalam partisipasi yang mudah dan peningkatan efisiensi kompleks 1 dalam katalisis	(Oswal et al., 2023)
28.	Metode Sintesis Terpiridin	Ringkasan kemajuan terbaru mengenai kompleks logam-terpiridin transisi dengan fokus pada aplikasinya dalam katalisis dan konstruksi struktur supramolekul	(Wei et al., 2019)
29.	Metode Pemurnian	Perkembangan utama dalam sintesis dan karakterisasi kandang organik logam lantanida, memungkinkan tren struktural umum muncul dan menyoroti yang menarik aplikasi yang sudah didemonstrasikan untuk kompleks ini	(Bell et al., 2022)
30.	Metode Perlakuan Awal Zeolit Alam, Aktivasi Zeolit Alam, Analisa Zeolit Hasil Aktivasi, dan Pemurnian Biodiesel	Biodisel untuk membuat solusi yang tepat di masa yang akan datang	(Udyani & Wulandari, 2014)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Corpas et al., 2021) tentang fungsionalisasi transisi-metal-katalis alkuna dengan reagen organoboron untuk tren baru, wawasan mekanistik, dan aplikasinya dengan menggunakan reagen organo boron dan metode yang digunakan yaitu hidrobasi, borilasi, aktivasi C-H, reaksi kopling, dan

karbometalasi menunjukkan hasil bahwa tren saat ini melibatkan pengoptimalan katalis, dan memperluas cakupan gugus fungsi. Sedangkan untuk masa depan termasuk desain katalis baru, dan memperluas jangkauan kelompok fungsional. Secara keseluruhan, bidang ini menawarkan potensi luar biasa untuk sintesis molekul kompleks dengan beragam aplikasi.

Penelitian (Kumar et al., 2022) tentang katalisis homogen untuk energi berkelanjutan: ekonomi hidrogen dan metanol, bahan bakar dari biomassa, dan topik terkait menggunakan metode MLC melalui mode dearomatisasi/aromatisasi, MLC aktif redoks, katalis berdasarkan ligan responsif proton, katalis yang melibatkan ligan triphos. Hasil penelitian menunjukkan pada perkembangan masa depan dalam katalisis homogen yaitu untuk energi berkelanjutan yang melibatkan kemajuan dalam elektrokatalisis, fotokatalisis, produksi bahan bakar berkelanjutan, baterai aliran redoks, fotosintesis buatan, dan keberlanjutan katalis. Dengan mengatasi tantangan ini, katalisis homogen dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengembangan teknologi energi berkelanjutan dan membuka jalan bagi masa depan energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Che et al., 2021) mengenai ligan bias pada reseptor opioid untuk status saat ini dan arah masa depan menggunakan metode desain dan sintesis ligan studi in vivo dan in vitro. Hasil penelitian pengembangan ligan bias pada reseptor opioid melibatkan perancangan ligan yang lebih disukai mengaktifkan jalur pensinyalan spesifik yang berfungsi untuk kontribusi pada pengembangan terapi berbasis opioid yang lebih efektif dan lebih aman, mengatasi tantangan yang terkait dengan nyeri dan kecanduan opioid pada masa mendatang.

Selain itu, penelitian lain (Huy, 2020) mengenai katalisis basa lewis mempromosikan substitusi nukleofilik-kemajuan terbaru dan arah masa depan menggunakan metode basa lewis yang mempromosikan substitusi nukleofilik katalisis dalam substitusi nukleofilik, basa lewis mengkatalisis substitusi nukleofilik, inversi stereokimia dan metrik hijau, katalisis fosfor oksida, siklopropenon dan katalisis tropon, katalisis formamida, katalisis sulfoksida, katalisis fospan.

Hasil penelitian (Pessoa & Correia, 2019) tentang kompleks logam salan vs. salen dalam katalisis dan aplikasi pengobatan dengan metode in vitro dan in vivo menunjukkan senyawa koordinasi menghasilkan obat terapeutik yang mampu mengobati kanker yang resisten terhadap obat berbasis Pt di masa depan.

Berdasarkan beberapa pemaparan hasil penelitian oleh peneliti menunjukkan bahwa sudah banyak penelitian yang menjadi tren saat ini dan masa mendatang yaitu menggunakan aplikasi kimia koordinasi dalam bidang katalisis, penelitian-penelitian lain mengenai aplikasi kimia koordinasi dalam katalisis untuk tren saat ini dan masa mendatang dapat dilihat pada tabel 1.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari tinjauan penelitian yang telah dilakukan, yaitu bahwa ternyata prinsip kimia koordinasi dalam katalisis sangat banyak digunakan dalam penelitian untuk menciptakan teknologi baru yang menjanjikan untuk masa sekarang dan arah masa depan, sebanyak 30 penelitian yang ditinjau bahwa hasil dari penelitian rata-rata menunjukkan hasil yang sangat baik yaitu teknologi yang dijanjikan dalam lingkup yang ramah lingkungan dan dapat dijangkau oleh masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

Bell, D. J., Natrajan, L. S., & Riddell, I. A. (2022). Design of Lanthanide Based Metal–Organic Polyhedral Cages for Application in Catalysis, Sensing, Separation and Magnetism. *Coordination Chemistry Reviews, 472*, 214786. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2022.2147

86

Che, T., Agnihotri, H. D., Shukla, A. K., & Roth, B. L. (2021). Biased Ligands at Opioid Receptors: Current Status and Future Directions. *Science Signaling*, *14*(677), 1–11. https://doi.org/10.1126/scisignal.aav0320

Chen, H., Simoska, O., Lim, K., Grattieri, M., Yuan, M., Dong, F., Lee, Y. S., Beaver, K., Weliwatte, S., Gaffney, E. M., & Minteer, S. D. (2020). Fundamentals, Applications, and Future Directions of Bioelectrocatalysis. *Chemical Reviews*, *120*(23), 12903–12993. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00472

Cheng, X., Lei, A., Mei, T. S., Xu, H. C., Xu, K., & Zeng, C. (2022). Recent Applications of Homogeneous Catalysis in Electrochemical Organic Synthesis. *CCS Chemistry*, *4*(4), 1120–1152. https://doi.org/10.31635/ccschem.021.202101451

Corpas, J., Mauleón, P., Arrayás, R. G., & Carretero, J. C. (2021). Transition-Metal-Catalyzed Functionalization of Alkynes with Organoboron Reagents: New Trends, Mechanistic Insights, and Applications. *ACS Catalysis*, *11*(12), 7513–7551. https://doi.org/10.1021/acscatal.1c01421

Creissen, C. E., & Fontecave, M. (2021). Solar-Driven Electrochemical CO2 Reduction with Heterogeneous Catalysts. *Advanced Energy Materials*, *11*(43), 1–12. https://doi.org/10.1002/aenm.202002652

De, S., Dokania, A., Ramirez, A., & Gascon, J. (2020). Advances in the Design of Heterogeneous Catalysts and Thermocatalytic Processes for CO2 Utilization. *ACS Catalysis*, *10*(23), 14147–14185. https://doi.org/10.1021/acscatal.0c04273

Evitasari, R. T. &, & Firda, I. H. dan. (2022). Pembuatan Pulp dari Kulit Jagung dan Ampas Tebu dengan Metode Acetosolv Pelarut Asam Cuka Apel deangan Variasi Kulit Jagung dan Ampas Tebu. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, *2*(November), 136–143.

Feng, X., Ren, Y., & Jiang, H. (2021). Metal-Bipyridine/Phenanthroline-Functionalized Porous Crystalline Materials: Synthesis and Catalysis. *Coordination Chemistry Reviews*, *438*, 213907. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.213907

Guo, J., & Jiang, D. (2020). Covalent Organic Frameworks for Heterogeneous Catalysis: Principle, Current Status, and Challenges. *ACS Central Science*, *6*(6), 869–879. https://doi.org/10.1021/acscentsci.0c00463

Huy, P. H. (2020). Lewis Base Catalysis Promoted Nucleophilic Substitutions – Recent Advances and Future Directions. *European Journal of Organic Chemistry*, *2020*(1), 10–27. https://doi.org/10.1002/ejoc.201901495

Koy, M., Bellotti, P., Das, M., & Glorius, F. (2021). N-Heterocyclic Carbenes as Tunable Ligands for Catalytic Metal Surfaces. *Nature Catalysis*, *4*(5), 352–363. https://doi.org/10.1038/s41929-021-00607-z

Kumar, A., Daw, P., & Milstein, D. (2022). Homogeneous Catalysis for Sustainable Energy: Hydrogen and Methanol Economies, Fuels from Biomass, and Related Topics. *Chemical Reviews*, *122*(1), 385–441. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00412

Li, Y. H., Li, J. Y., & Xu, Y. J. (2021). Bimetallic Nanoparticles as Cocatalysts for Versatile Photoredox Catalysis. *EnergyChem*, *3*(1). https://doi.org/10.1016/j.enchem.2020.100047

Ma, S., & Liu, Z. P. (2020). Machine Learning for Atomic Simulation and

Activity Prediction in Heterogeneous Catalysis: Current Status and Future. *ACS Catalysis*, *10*(22), 13213–13226. https://doi.org/10.1021/acscatal.0c03472

Malapit, C. A., Prater, M. B., Cabrera-Pardo, J. R., & Li, M. (2016). *Advances on the Merger of Electrochemistry and Transition Metal Catalysis for Organic Synthesis*. *84112*(1), 1–23.

Norvia, S., Suhartana, & Pardoyo. (2016). Dealuminasi Zeolit Alam Menggunakan Asam (HCl dan H2SO4). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, *19*(2), 72–76.

Oswal, P., Arora, A., Bahuguna, A., Purohit, S., Joshi, K., Sharma, P., & Kumar, A. (2023). Palladacycle Versus Coordination Complex of Palladium(II) With A Bulky Organophosphorus (P,N) Ligand: Application in Catalysis of Allylation of Aldehydes. *Results in Chemistry*, *5*(November 2022), 100683. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100683

Pathak, A., Kothari, R., Vinoba, M., Habibi, N., & Tyagi, V. V. (2021). Fungal Bioleaching of Metals From Refinery Spent Catalysts: A Critical Review of Current Research, Challenges, and Future Directions. *Journal of Environmental Management*, *280*(December 2020), 111789. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111789

Pessoa, J. C., & Correia, I. (2019). Salan vs Salen Metal Complexes in Catalysis and Medicinal Applications: Virtues and Pitfalls. *Coordination Chemistry Reviews*, *388*, 227–247. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2019.02.035

Pratama, M. R., Kusumah, H., & Efendi, R. (2019). Pengaruh Penggunaan Zeolit Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Paving Block. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*, *10*(2), 35–40. https://doi.org/10.33369/ijts.10.2.35-40

Qu, P., Clevelend, J. W., Ahmed, E., & Fangbei, L. (2021). Compartmentalisation of Molecular Catalysts for Nonorthogonal Tandem Catalysis. *Chemical Society Reviews*, 1–16. https://doi.org/10.1039/x0xx00000x

Rana, Rachita Fernando D. Vila, A. R. K. and S. R. B. (2023). *Bridging the Gap between the X-ray Absorption Spectroscopy and the Computational Catalysis Communities in Heterogeneous Catalysis: A Perspective on the Current and Future Research Directions Rachita*. 1–70.

Rej, S., Das, A., & Chatani, N. (2021). Strategic Evolution in Transition Metal-Catalyzed Directed C–H Bond Activation and Future Directions. *Coordination Chemistry Reviews*, *431*(xxxx), 213683. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213683

Sanchis-Gual, R., Coronado-Puchau, M., Mallah, T., & Coronado, E. (2023). Hybrid Nanostructures Based on Gold Nanoparticles and Functional Coordination Polymers: Chemistry, Physics, and Applications In Biomedicine, Catalysis and Magnetism. *Coordination Chemistry Reviews*, *480*, 215025. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.215025

Udyani, K., & Wulandari, Y. (2014). Aktivasi Zeolit Alam untuk Peningkatan Kemampuan sebagai Adsorben pada Pemurnian Biodiesel. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan II*.

Vachlepi, M.T, A. (2019). Prospek Pemanfaatan Kayu Karet Sebagai Bahan Baku Pembuatan Pulp. *Warta Perkaretan*, *1*(1), 47–60. https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v1i1.593

Vaishya, V., Patider, S., & Pilania, M. (2021). Imidazolium/Triazolium Based Nhc-Palladium Complexes and Theirapplication in Catalysis. *Materials Today: Proceedings*, *43*, 3181–3187.

https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.665

Vangeel, T., Schutyser, W., Renders, T., & Sels, B. F. (2018). Perspective on Lignin Oxidation: Advances, Challenges, and Future Directions. *Topics in Current Chemistry*, *376*(4). https://doi.org/10.1007/s41061-018-0207-2

Wafi, M., & Budianto, A. (2022). Review Jurnal : Produksi Biofuel dari Palm Oil dengan Berbagai Metode Proses. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, *1*(4), 368–375. https://doi.org/10.55123/insologi.v1i4.633

Wei, C., He, Y., Shi, X., & Song, Z. (2019). Terpyridine-Metal Complexes: Applications in Catalysis and Supramolecular Chemistry. *Coordination Chemistry Reviews*, *385*, 1–19. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2019.01.005

Zerk, T. J., & Bernhardt, P. V. (2018). Redox-Coupled Structural Changes in Copper Chemistry: Implications for Atom Transfer Catalysis. *Coordination Chemistry Reviews*, *375*, 173–190. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.11.016