



AGROINDUSTRIAL TECHNOLOGY JOURNAL

ISSN : 2599-0799 (print) ISSN : 2598-9480 (online)

Accredited SINTA 3: No.225/E/KPT/2022

HIDROGENASI MINYAK KEDELAI DENGAN VARIASI MASSA KATALIS PALLADIUM

Hydrogenation of Soybean Oil with Palladium Catalyst Mass Variations

Adi Permadi ^{*1)}, Totok Eka Suharto²⁾, Syaeful Akbar Padya²⁾, Ahmad Fatwa Zufar²⁾, AbdulAziz²⁾,
Ibdal Satar³⁾

¹⁾Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan,
Jalan Ringroad Selatan, Kragilan, Bantul, DIY, 555191

²⁾Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Jalan
Ringroad Selatan, Kragilan, Bantul, DIY, 555191

³⁾Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Jalan
Ringroad Selatan, Kragilan, Bantul, DIY, 555191

*Email Korespondensi: adi.permadi@che.uad.ac.id

Info artikel: Diterima 03 Desember 2022, Direvisi 25 Desember 2022, Disetujui 16 maret 2023

ABSTRACT

Soybean oil, also known as vegetable oil, consists of triglycerides such as saturated and unsaturated fatty acids. However, this soybean oil has low oxidative stability when stored at room temperature and used at high temperatures. Hydrogenation is carried out to obtain oxidation stability and will reduce double bonds including trans fatty acids. The use of palladium catalyst is the most potential in the hydrogenation process. This research was conducted in two conditions, experiment 1 and experiment 2. With temperature conditions of 75°C, pressure of 1 atm, using a reactor equipped with a stirrer at a speed of 450-520 rpm. In experiment 1, the palladium catalyst was not activated and hydrogen gas entered through the bottom of the reactor. In experiment 2, the palladium catalyst was activated with NaOH while hydrogen gas entered through the side of the reactor. Iodine number analysis method used is the Wijs method. The results of experiment 1, so that the value of the iodine number can be below 100 gr I₂/gr of oil, while in the results of experiment 2, the value of the lowest iodine number is at a value of 110 gr I₂/g of oil. The main influencing factors in our research a hydrogen gas turbulence, palladium catalyst activation and stirring.

Keywords: Soybean oil, Hydrogenation, Wijs Method, Palladium

ABSTRAK

Minyak kedelai atau dikenal sebagai minyak nabati yang terdiri dari trigliserida seperti asam lemak jenuh dan tak jenuh. Namun, minyak kedelai ini memiliki stabilitas oksidatif yang rendah apabila disimpan pada suhu kamar dan digunakan pada suhu tinggi. Hidrogenasi dilakukan untuk mendapatkan kestabilan oksidatif dan akan mereduksi ikatan rangkap diantaranya *trans fatty acid*. Penggunaan katalis palladium merupakan yang paling potensial pada proses hidrogenasi. Penelitian

ini dilakukan pada dua kondisi, eksperimen 1 dan eksperimen 2. Kondisi temperatur dijaga pada 75°C, tekanan 1 atm, dengan penggunaan reaktor dilengkapi dengan pengaduk yang beroperasi pada kecepatan 450-520 rpm. Pada eksperimen 1, katalis palladium tidak diaktivasi dan gas hidrogen masuk melalui bawah reaktor. Pada eksperimen 2, katalis palladium diaktivasi dengan NaOH sedangkan gas hidrogen masuk melalui sisi samping reaktor. Metode analisa bilangan iodin yang digunakan yaitu metode wijs. Pada hasil eksperimen 1 terlihat nilai bilangan iodin mampu berada dibawah angka 100 gr I₂/gr minyak sedangkan pada hasil eksperimen 2 nilai bilangan iodin paling rendah pada nilai 110 gr I₂/ gr minyak. Faktor yang berpengaruh pada penelitian ini utamanya adalah turbulensi gas hidrogen, aktivasi katalis palladium dan pengadukan.

Kata Kunci: Minyak kedelai, Hidrogenasi, Metode Wijs, Palladium

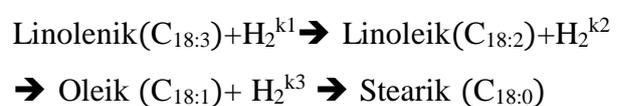
PENDAHULUAN

Minyak kedelai terdiri dari trigliserida utama seperti asam lemak jenuh dan tak jenuh, khususnya dengan panjang rantai C₁₆-C₁₈. Minyak kedelai memiliki kadar asam lemak jenuh yang dipengaruhi oleh varietas dan keadaan iklim tempat tumbuh. Sebanyak 90-95% gliserida terdapat dalam lemak kasar, sisanya senyawa pengganti lemak dan minyak dengan kadar asam lemak jenuh yang tinggi (Asriati dkk., 2020). Asam lemak dan distribusinya dapat diubah komposisinya dan dapat meningkatkan fungsionalitas minyak melalui modifikasi seperti fraksinasi, pencampuran dan hidrogenasi (Hasibuan dan Priyanto, 2021).

Minyak kedelai dikenal sebagai minyak nabati yang baik untuk menurunkan resiko kanker payudara dan prostat. Namun minyak kedelai memiliki stabilitas oksidatif yang lebih rendah ketika disimpan pada suhu kamar dan digunakan untuk memasak pada suhu tinggi (Kozłowska dan Gruczyńska, 2018). Proses hidrogenasi bertujuan untuk mendapatkan kestabilan oksidatif atau daya tahan terhadap oksidasi serta mengubah karakteristik titik leleh (*melting point*)

untuk penggunaan produk akhir tertentu. Proses hidrogenasi akan mereduksi ikatan rangkap diantaranya *trans fatty acid* (Sidjabat, 2013). Hidrogenasi merupakan reaksi senyawa kimia dengan hidrogen yang akan mengakibatkan terjadinya pemutusan ikatan rangkap dalam senyawa kimia tersebut. Jumlah ikatan rangkap yang dimiliki akan berdampak pada kestabilan senyawa tersebut (Joelianingsih dkk., 2016).

Hidrogenasi merupakan reaksi eksotermik dan suhu harus dikontrol selama reaksi. Kontak gas hidrogen dengan minyak dan katalis merupakan hal yang utama. Biasanya reaktor hidrogenasi dilengkapi dengan pengaduk yang bertujuan mendapatkan dispersi gas hidrogen yang efisien dengan minyak. Jenis reaktor *autoclave* dengan pengaduk dipilih agar katalis dapat melarutkan hidrogen dan energi dapat terdistribusi secara merata (Firmansyah dkk., 2021). Menurut Tiven (2017) skema hidrogenasi biasanya digambarkan sebagai berikut:



Secara komersial hidrogenasi dilakukan

secara *batch* pada temperatur 180°C dengan katalis nikel (Ni) sebanyak 0,08% dari berat minyak (Firmansyah dkk., 2021). Penggunaan katalis raney nikel atau nikel yang disokong oleh silika atau alumina umum dipakai namun dikenal memiliki toksisitas jika tidak dipindahkan semua. Untuk menggantikan bahan penyokong katalis nikel, telah digunakan logam mulia sebagai penggantinya. Keberadaan logam mulia pada katalis sangat mahal namun memiliki tingkat aktivitas yang tinggi dan sedikitnya jumlah yang digunakan serta dapat diambil dan digunakan kembali.

Palladium (Pd), platina (Pt) dan ruthenium (Ru) merupakan katalis logam mulia yang paling potensial untuk dipakai dalam hidrogenasi. Setiap katalis logam memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal selektivitas, reaktivitas, dan trans isomerisasi selama proses hidrogenasi. Dilaporkan bahwa hidrogenasi minyak kedelai dapat berlangsung dengan menggunakan 1% sampai 10% Pd/C dengan tekanan gas hidrogen diantara ambient dan 70 psi dan pada temperatur 80°C dan 160°C. Pengaruh katalis palladium dan platina pada pembentukan asam lemak trans dan asam lemak jenuh selama hidrogenasi minyak kedelai terjadi pada 60°C, 102 psi dan 50-65 ppm katalis logam mulia (Sidjabat, 2013). Katalis logam mulia dapat bekerja pada suhu yang jauh lebih rendah dan dengan demikian dapat menghasilkan asam lemak trans yang sedikit dibandingkan dengan katalis Ni konvensional. Urutan aktivitas katalis logam mulia adalah Pd >

Pt > Rh > Ru (Bjelić et al., 2019). Banyak prosedur pengujian telah dikembangkan secara baik dan diterapkan untuk mengukur berbagai faktor yang terkait dengan ketidakstabilan termal dan oksidasi dari biodiesel. Metode uji tersebut dapat dikategorikan berdasarkan apakah dilakukan pengukuran komposisi minyak awal lemak, produk oksidasi utama, produk oksidasi sekunder, sifat fisik, atau tes *carryout* stabilitas. Nilai iodium (IV) adalah salahsatu metode tertua dan paling umum untuk menentukan besarnya kejenuhan dalam minyak lemak atau ester (Sanchez et al., 2017). D1541 dan D1959 adalah dua metode ASTM yang digunakan untuk mengukur nilai iodium, meskipun tidak selalu menjadi metode yang baik untuk menilai stabilitas karena tergantung pada posisi ikatan ganda yang tersedia untuk oksidasi. OSI (*Oxidation Stability Index*) dari berbagai FAME (*fatty acid methyl ester*) berkorelasi lebih baik berkenaan dengan BAPE (*Bis-allylik position equivalent*) dibandingkan nilai iodin (IV). Penelitian ini akan memvariasikan massakatalis palladium pada proses hidrogenasi minyak kedelai.

BAHAN DAN METODE

Minyak kedelai yang diperoleh dari supermarket lokal di kota Bandung, sebanyak 700 ml dengan massa jenis 0.92 g/cm³ di hidrogenasi. Katalis yang digunakan adalah palladium berfasa padat. Agar pengaruh katalis optimal maka reaktor dilengkapi dengan

pengaduk agitator jenis centrifugal dengan dua baling-baling terbuka yang dijaga pada putaran 450 – 520 rpm. Untuk meningkatkan suhu minyak digunakan *waterbath* dengan temperatur 75°C (temperatur minyak sekitar 70°C). Reaksi berlangsung pada tekanan mendekati tekanan atmosferik 1 atm. Pengukuran nilai iodin menggunakan metode *wijs* (FBI-A04-03).



Gambar 1. Reaktor Hidrogenasi Minyak Kedelai

Metode Analisis Standar untuk Angka Iodium dengan Metode *Wijs*

Pengujian analisa bilangan iodin menggunakan reagen *wijs* dilakukan dengan melakukan titrasi minyak kedelai sebanyak 0,13 -0,15 gram dan ditambahkan 15 ml kloroform serta 25 ml reagen *wijs*. Sampel disimpan selama 1 jam di tempat gelap. Penambahan 20 ml KI dan 150 ml aquadest dilakukan setelah disimpan, kemudian dilakukan titrasi dengan menggunakan Natrium Tiosulfat 0,1 N sampai warna berubah menjadi coklat kekuningan dan ditambahkan 1 ml larutan indikator sehingga

warna larutan berubah menjadi coklat yang lebih bening. Maka akan diperoleh data volume (v) titrasi dari larutan sampel kemudian dilakukan analisa terhadap larutan blanko sehingga diperoleh volume blanko.

Rumus Nilai Bilangan Iodin (I):

$$I = \frac{12,69 \times (v \text{ blanko} - v \text{ titrasi}) \times \text{Normalitas Natrium Tiosulfat}}{\text{Massa Minyak (gram)}} \dots(1)$$

dimana normalitas natrium tiosulfat sebesar 0,1N

Metode Aktivasi Katalis Palladium dengan NaOH

Aktivasi katalis dilakukan dengan melarutkan dan mengaduk NaOH terlebih dahulu sebanyak 25 gram dalam 500 ml aquadest sebanyak 2 kali. Katalis palladium sebanyak 100gr ditambahkan ke dalam larutan NaOH dan diaduk selama 4 menit lalu disaring dan dibilas dengan air. Katalis dimasukkan kembali dengan 25 gram NaOH dalam 500 ml aquadest kemudian Langkah yang sama seperti sebelumnya. Prosedur ini dapat dirujuk pada *US Patent Office 3,515,678 patented June 2, 1970.*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai awal bilangan iodin untuk minyak kedelai adalah rata-rata dari 3 hasil pengujian dari nilai bilangan iodin minyak kedelai dapat dilihat pada tabel 1 ini yakni sebesar 140.94.

Tabel 1. Tabel bilangan iodin minyak kedelai dari hasil 3 kali pengujian keledai

Data	Minyak Kedelai
------	----------------

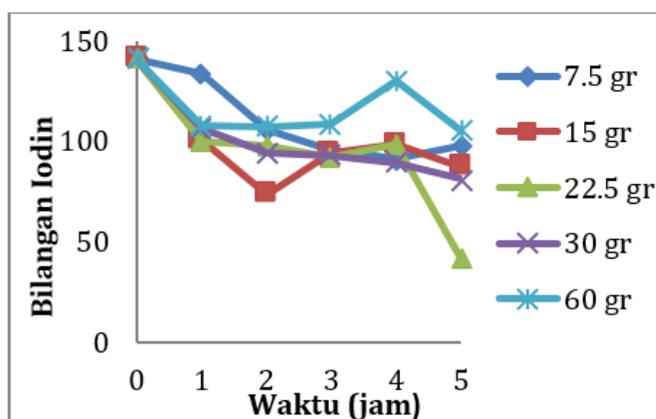
	1	2	3
massa minyak (gr)	0,15	0.15	0.14
volume titrasi (ml)	39.10	39.1	39.1
volume blanko (ml)	22.80	23.1	23.2
bil. Iodin (gr I ₂ /gr minyak)	140.7	140.0	142.1

Khokhar dkk., (2022) melaporkan bilangan iodin pada minyak kedelai India sebesar 120-128 (gr I₂/gr minyak). Santos dkk., (2019) juga melaporkan bilangan iodin dari minyak kedelai lokal Brazil sebesar 100-150 (gr I₂/100 gram). Temperatur yang digunakan 75°C, temperatur ini tergolong tidak terlalu tinggi karena dengan menggunakan katalis palladium reaksi hidrogenasi ini dapat berlangsung. Namun jika digunakan Ni maka perlu temperatur yang lebih tinggi dari itu. Studi dari literatur menyebutkan bahwa temperatur tidak hanya berpengaruh pada laju hidrogenasi saja namun juga terhadap distribusi asam lemak trans dan cis. (Junaidi et al., 2020). Kenaikan temperatur dari 30°C menjadi 75°C telah menurunkan bilangan iodin dari 135 (grI₂/gr minyak) menjadi 95 (gr I₂/gr minyak) (Sancheti dan Gogate, 2017). Pengadukan dengan putaran 450 – 520 rpm akan meningkatkan turbulensi dan transfer massa katalis terhadap minyak kedelai.

Pengaruh variasi massa katalis terhadap penurunan bilangan iodin (Eksperimen 1)

pada Eksperimen 1 gas hidrogen dialirkan dari bawah reaktor dan berkontak langsung

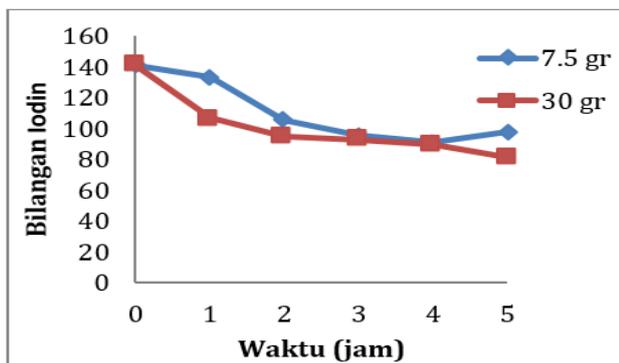
dengan minyak dan katalis. Eksperimen 1 dilakukan dengan menggunakan variasi massa katalis pada 7,5 gr; 15gr; 22,5 gr; 30 gr dan 60 gr. Waktu reaksi dilakukan selama 5 jam dan tiap 1 jam akan diambil sampel dari reaktor untuk dilakukan penentuan nilai bilangan iodin. Pada tahap awal nilai dari titrasi blanko ditentukan dari rata-rata 2 kali pengujian (37.8 dan 38.1) yaitu sebesar 37.95.



Gambar 2. Pengaruh berat katalis palladium pada penurunan bilangan iodin terhadap waktu

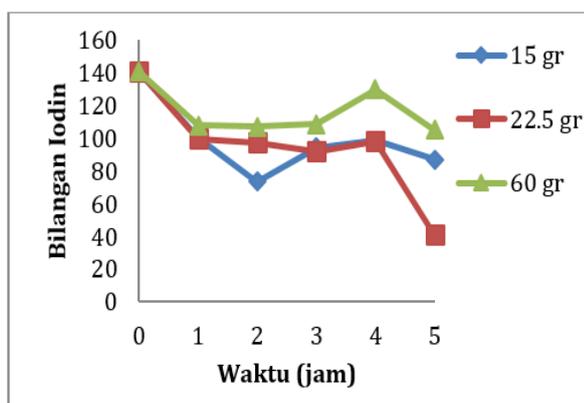
Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 menunjukkan adanya kecenderungan bilangan iodin turun dengan semakin bertambahnya waktu reaksi. Jika dicermati kurva untuk massa katalis 7,5 gram dan 30 gram pada Gambar 3 menunjukkan adanya penurunan bilangan iodin terhadap waktu reaksi dan menunjukkan pengaruh penambahan massa katalis yang akan menyebabkan terjadinya penurunan bilangan iodin. Sancheti et al., (2017) melaporkan bahwa penambahan konsentrasi katalis dari 1% Pd/C menjadi 5% Pd/C akan

semakin mempercepat penurunan bilangan iodin terhadap waktu.



Gambar 3. Pengaruh berat katalis 7,5 gr dan 30 gr pada penurunan bilangan iodin terhadap waktu

Secara keseluruhan dari hasil penambahan katalis terlihat belum tentu membuat nilai bilangan iodin akan semakin rendah yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Hal ini dikarenakan meskipun banyak katalis yang digunakan tetapi putaran pengaduk pada kisaran 450-520 rpm masih belum cukup untuk mengangkat seluruh katalis ke atas agar terjadi kontak dengan minyak sehingga masih banyak katalis yang terendapkan di dasar reaktor.



Gambar 4. Pengaruh berat katalis 15 gr, 22,5 gr dan 60 gr pada penurunan bilangan iodin terhadap waktu

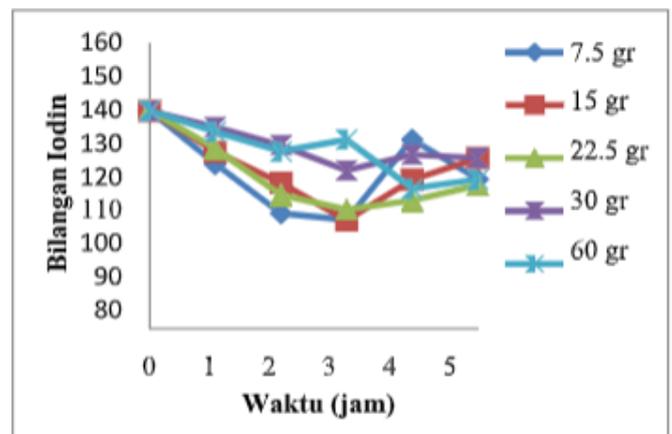
Adanya penambahan jumlah katalis tidak akan optimal jika tidak diikuti dengan pengadukan yang dapat mengangkat seluruh katalis. Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap turbulensi dan transfer massa. Dilaporkan bahwa laju hidrogenasi minyak kedelai mencapai maksimal setelah diatas 600 rpm pada temperatur 80 °C menggunakan katalis Pd/C (Thakur dan Gogate, 2020).

Kurva untuk massa katalis 15 gram, 22,5 gram dan 60 gram pada Gambar 4 menunjukkan kenaikan bilangan iodin atau terdehidrogenasi. Pada penggunaan katalis 15 gram setelah pada 2 jam pertama mengalami penurunan bilangan iodin namun pada 3 jam berikutnya terjadi kenaikan bilangan iodin. *Running* menggunakan katalis 15 gram memang direkomendasikan agar diulang. Demikian pula pada penggunaan katalis 60 gram, dijumpai adanya kenaikan bilangan iodin pada pengambilan sampel setelah 4 jam namun setelah itu kembali bilangan iodin mengalami penurunan. Pada gambar 4. jumlah katalis yang lebih banyak akan menurunkan bilangan iodin, pada line 22,5 gr terhadap line 15 gr. Kemungkinan yang terjadi untuk kondisi diatas adalah kesalahan dalam titrasi sampel seperti penentuan akhir titrasi (warna putih) yang terlalu cepat dalam mengakhiri titrasi sehingga titik akhir titrasi tidak tepat, seperti warna belum putih (indicator warna untuk akhir titrasi) namun sudah dihentikan karena

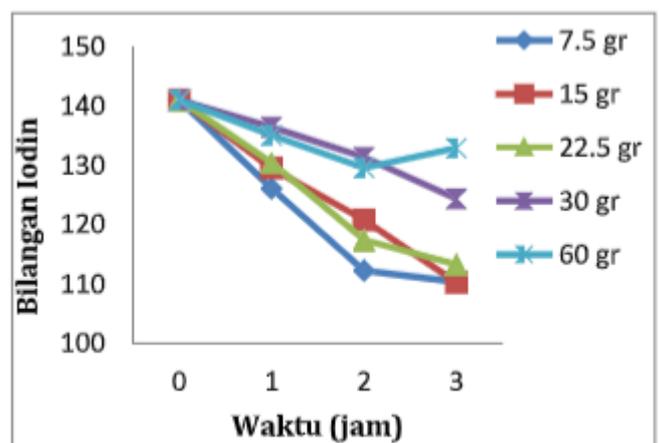
dianggap sudah putih padahal masih berwarna abu-abu. Kemungkinan lain adalah ketidakakuratan dalam melakukan pengujian seperti kurang atau lebihnya bahan kimia untuk pengujian dari takaran semestinya. Hal ini jelas akan mempengaruhi hasil titrasi. Kemungkinan lainnya adalah pengaruh dari waktu penyimpanan yang tidak tepat selama 1 jam serta tingkat pengadukan yang kecil seperti suatu sampel titrasi pada nilai 27 telah selesai tetapi karena pengadukannya terlalu kecil maka sampel titrasi yang diperoleh pada nilai 31. Kemungkinan lainnya adalah nilai blanko selalu berubah dan tidak dapat ditetapkan pada awal percobaan eksperimen 1 ini. karena adanya pengaruh temperatur atau komposisi bahan-bahan kimia yang digunakan pada saat itu. Patut diduga pula adalah pengujian sampel tidak langsung dilakukan setelah sampel diambil memberikan pengaruh perubahan terhadap bilangan iodin. Dari Gambar 4 terlihat pada penggunaan massa katalis 22,5 gram pada pengambilan sampel setelah 5 jam diperoleh bilangan iodin yang sangat rendah (40,978). Nilai ini merupakan nilai yang terlalu jauh dari kondisi-kondisi yang lainnya, dimana dimungkinkan pula terjadinya kesalahan dikarenakan salah satu faktor yang diatas. Walaupun secara keseluruhan nilai dari bilangan iodin semakin turun dengan bertambahnya waktu reaksi.

Pengaruh variasi massa katalis yang telah teraktivasi oleh NaOH (Eksprimen 2)

Pada eksperimen 2 gas hidrogen dialirkan melalui sisi samping reaktor dan tepat diatas permukaan minyak yang ada didalam reaktor. Seperti halnya dengan eksperimen 1, kondisi yang digunakan sama yaitu massa katalis yang digunakan divariasikan pada 7,5 gr, 15 gr, 22,5 gr, 30 gr dan 60 gr. Reaksi dijalankan selama 5 jam. dan setiap 1 jam sampel dari reaktor diambil untuk dilakukan pengujian nilai bilangan iodinnya.



Gambar 5. Pengaruh berat katalis palladium yang diaktivasi dengan NaOH pada penurunan bilangan iodin terhadap waktu



Gambar 6. Nilai bilangan iodin pada 3 jam pertama

Beberapa faktor lain yang dianggap berpengaruh sebagai berikut :

Pertama, Kestabilan kecepatan putaran pengaduk yang belum baik, dalam prakteknya nilai kecepatan putaran pengaduk secara tiba-tiba dapat turun lebih rendah dari 450 rpm atau tiba-tiba dapat naik melebihi 520 rpm dan yang lebih buruknya lagi putaran pengaduk bisa berhenti. Kejadian seperti ini dapat mengakibatkan error dalam *running* hidrogenasi sehingga mutlak harus terus dilakukan kontrol setiap saat.

Kedua, dalam prakteknya, gelas kaca dalam reaktor pada eksperimen 2 ini sering berbenturan dengan pengaduk sehingga mengakibatkan tingkat distribusi dari katalis untuk berkontak kurang baik.

KESIMPULAN

Pada hasil eksperimen 1 katalis palladium tidak di aktivasi dengan NaOH, aliran gas hidrogen dialirkan dari bawah reaktor hingga masuk berkontak dengan minyak dan katalis, bilangan iodin hasil eksperimen 1 memberikan hasil kurang dari 100 (gr I₂/ gr minyak). Sedangkan pada hasil eksperimen 2 katalis palladium telah diaktivasi dengan NaOH, gas hidrogen dialirkan lewat samping reaktor dan berkontak dengan minyak serta katalis, memberikan bilangan iodin sedikit lebih tinggi (nilai 110 gr I₂ / gr minyak). Perbedaan hasil dan keefektifan hidrogenasi minyak kedelai dengan

katalis Palladium ini tidak lepas dari faktor turbulensi aliran dalam reaktor, aktivasi katalis dan faktor teknis dalam penelitian ini seperti penetapan ketelitian dalam pembacaan nilai titrasi blanko dan titrasi sampel. Faktor turbulensi aliran gas Hidrogen yang dialirkan melalui bawah reaktor dipandang lebih baik dibandingkan dengan pengaliran gas hidrogen masuk melalui sisi reaktor.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada pengelola laboratorium Konversi Energi Teknik kimia ITB yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asriati, D. W., Wahyuni, W., Ramlah, S., Amalia, A. N., & Ristanti, E. Y. (2020). Karakteristik Kandungan Lemak Dan Asam Lemak Cokelat Compound Yang Terbuat Dari Oleogel Minyak Nabati Dan CocoaButter Substitute Dengan Oleogator Lemak Kakao. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*,15(1), 74.
- Bjelić, A., Grilc, M., Huš, M., & Likozar, B. (2019). Hydrogenation and hydrodeoxygenation of aromatic lignin monomers over Cu/C, Ni/C, Pd/C, Pt/C, Rh/C and Ru/C catalysts: Mechanisms, reaction micro-kinetic modelling and quantitative structure-activity relationships. *Chemical Engineering Journal*, 359, 305– 320.

- Firmansyah, A. R., Yuzansa, S. P., & Juliastuti, S.R. (2021). Pra Desain Pabrik Margarin dari Biji Jagung dengan Proses Hidrogenasi. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 362–367.
- Hasibuan, H. A., & Priyanto, A. (2021). Physicochemical Properties of Oil Mixtures From Virgin Red Palm Oil With Olive Oil , Corn Oil , Soybean Oil or Sunflower Oil. *Jurnal Kelapa Sawit*, 29(1), 21–34.
- Joelianingsih, Alghifari, M. I., & Antika, F. (2016). Peer Review-Sintesis Biodiesel Dari Minyak Kemiri Sunan Dengan Katalis Homogen Melalui Reaksi Esterifikasi Dan Transesterifikasi Secara Bertahap. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, November, 1–11.
- Junaidi, L., Lestari, N., & Meutia, Y. R. (2020). Optimization of the hydrogenation and refining process for cocoa butter substitute production using palm kernel oil in a small and medium scale industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 980(1).
- Khokhar, M. R., Rana, P. H., Chopda, L. V., & Sinha, M. K. (2022). Epoxidation of soybean oil by insitu formation of peracid in the presence of zeolites. *Indian Journal of Chemical Technology*, 29(5), 566–571.
- Kozłowska, M., & Gruczyńska, E. (2018). Comparison of the oxidative stability of soybean and sunflower oils enriched with herbal plant extracts. *Chemical Papers*, 72(10), 2607–2615.
- Sancheti, S. V., & Gogate, P. R. (2017). Ultrasound assisted selective catalytic transfer hydrogenation of soybean oil using 5% Pd/C as catalyst under ambient conditions in water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 161–167.
- Sanchez, J. L., Pereira, S. B. G., de Lima, P. C., Possebon, G., Tanamati, A., Poppi, R. J., Tanamati, A. A. C., & Bona, E. (2017). Mid-infrared spectroscopy and support vector machines applied to control the hydrogenation process of soybean oil. *European Food Research and Technology*, 243(8), 1447–1457.
- Santos, M. N., De Souza, E. F., Fiorucci, A. R., & Da Silva, M. S. (2019). Assessment of antioxidant action of curcumin during storage of commercial biodiesel produced from soybean oil and beef tallow. *Periodico Tche Quimica*, 16(31), 491–502.
- Sidjabat, O. (2013). Peningkatan Sifat Alir dan Stabilitas Oksidasi Biodiesel dengan Proses Hidrogenasi Parsial. (Bagian II): Penggunaan Pd-Al₂O₃ Sebagai Katalis. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, Vol 47, No 3 (2013), 147–154.
- Thakur, S., & Gogate, P. R. (2020). Synthesis of Pd/C catalyst using formaldehyde reduction method and application for ultrasound assisted transfer hydrogenation of corn oil. *Chemical Engineering and*

Processing - Process Intensification,
152(April), 107939.

Tiven, N. C. (2017). Minimize the
Hydrogenation of Unsaturated Fatty Acid
In The Rumen With Kaffir Lime (Citrus
Hystrix). Buletin Peternakan, 41(3), 265.