

**FORMULASI DAN ANALISIS DESAIN EKSPERIMEN SEBAGAI
STUDI PENDAHULUAN DALAM OPTIMISASI PRODUKSI
BIOETANOL DARI BIJI DURIAN**

***FORMULATION AND ANALYSIS OF DESIGN OF EXPERIMENT AS
PREMILINARY STUDY IN OPTIMIZATION OF BIOETHANOL
PRODUCTION FROM DURIAN SEED***

H.B. Aditiya*, H.C. Theofany

*Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Teknologi, Universitas Sampoerna

Jl. Raya Pasar Minggu, Kav.16, Jakarta 12780. Indonesia

Email korespondensi: aditiya.harjon@sampoernauniversity.ac.id

Abstrak

Sebagai salah satu bahan bakar terbarukan, bioetanol merupakan bahan bakar alternatif yang dapat menekan efek buruk dari dampak polusi di lingkungan dan ketergantungan atas bahan bakar fosil. Studi ini merupakan studi pendahuluan dalam upaya optimisasi produksi bioetanol generasi kedua dari biji durian, dimana formulasi desain eksperimen akan difokuskan. Empat variabel berikut dengan rentang nilainya ditetapkan pada studi pendahuluan ini, yaitu berat massa substrat, konsentrasi NaOH, waktu hidrolisa dan suhu hidrolisa. Dengan menggunakan metode RSM berbasis Box-Behnken, 29 titik pengujian tercipta. Model prediksi kuadratik juga dianalisis lebih lanjut. Desain eksperimen yang dihasilkan dari studi ini menunjukkan reliabilitas yang memuaskan dari nilai *lack of fit*, VIF dan *error standar* desain yang memuaskan.

Kata kunci: bioetanol, generasi kedua, desain eksperimen, optimisasi

Abstract

As one of renewable fuels, bioethanol is an alternative fuel that is able to dampen the negative effects of the worsening environmental issues due to the pollution and the heavy-reliance on fossil fuel. This study is a preliminary study in the effort of optimizing second generation bioethanol production from durian seed as the feedstock, in which the formulation of design of experiment will be focused here. Four variables including the value ranges are set, which are substrate loading, NaOH concentration, hydrolysis time and hydrolysis temperature. By applying RSM with Box-Behnken design, 29 data points are produced. The selected quadratic prediction model is also further analyzed for its suitability with the current study. The formulated design of experiment from this study shows a reliability according to the satisfactory resulted values of lack of fit, VIF and standard error design.

Keywords: *bioethanol, second generation, design of experiment, optimization.*

PENDAHULUAN

Perjalanan dalam pencarian energi alternative yang mendukung keberlangsungan lingkungan masih dalam progres yang nyata dan banyak para periset dan peneliti yang masih berusaha mendalami hal ini. Dewasa ini, untuk memproduksi energi kebanyakan bersumber dari bahan

bakar fosil dan turunannya yang tidak bisa diperbarukan. Hal ini sudah menjadi fakta yang populer bahwa bahan bakar fosil sudah lama memberikan dampak-dampak buruk kepada lingkungan. Gas rumah kaca (GRK), sebagai contohnya, telah mempengaruhi lingkungan secara global, dimana ini diakibatkan oleh gas buang berbasis karbon (CO dan CO₂) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil tersebut. Dalam skala yang besar, gas-gas buang tersebut akan memenuhi atmosfer dan menghalangi suhu bumi. Kejadian ini mengarahkan kepada pemanasan global, dan ini akan mengacaukan keseimbangan alami ekosistem di dunia. Dalam perspektif kebutuhan energi, peningkatan kebutuhan energi yang makin tajam diakibatkan oleh perkembangan dari sektor industri dan perkembangan teknologi yang pesat, sehingga kebutuhan keseharian sosial semakin energi intensif (Aditiya *dkk.*, 2019; Ninawe *dkk.*, 2018; Salameh, 2014; A. H. Sebayang *dkk.*, 2016).

Biofuel, atau bahan bakar hayati, dewasa ini, sering dianggap sebagai salah satu solusi alternatif yang menjanjikan. Bahan bakar ini berasal dari sumber-sumber yang terbarukan, contohnya hasil pertanian, perkebunan dan berbagai jenis minyak yang bersifat nabati. Bioetanol merupakan suatu bahan bakar substitusi untuk jenis mesin pembakaran dalam yang menggunakan bunga api yang dipicu oleh busi. Pada saat ini, kebanyakan dari bioetanol yang diproduksi secara komersial bersumber dari fermentasi gula yang berasal dari jagung dan tebu (A. H. Sebayang *dkk.*, 2016). Jalur produksi yang ini memang sudah dilakukan dalam skala yang besar, tetapi jika terus dilakukan dengan memanfaatkan bahan baku dari jenis yang bisa dimakan, akan timbul kekhawatiran atas munculnya ketidakseimbangan memproduksi bahan baku untuk makanan dan untuk bahan bakar. Jika efek ini muncul secara besar-besaran, maka negara-negara dengan indeks kelaparan global (*Global Hunger Index*, GHI) yang kecil akan terkena dampaknya terlebih dahulu dan sangat keras. Saat ini, sudah ada sejumlah 43 negara di dunia dari total 117 negara yang dilaporkan memiliki level GHI yang sangat serius (level 5), atau sekitar 36% dari jumlah negara di dunia akan dilanda oleh kelaparan (Worldwide, 2019). Untuk memitigasi dampak negatif yang lebih jauh lagi, produksi bioetanol bisa dilakukan dengan cara generasi kedua, yaitu dengan memanfaatkan bahan baku yang bersifat bukan makanan. Jenis produksi bioetanol yang ini akan memberikan hasil positif terhadap kesuksesan dalam mengurangi ketergantungan kepada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi GRK di atmosfer (Aditiya *dkk.*, 2016). Di Indonesia sendiri, sebagai negara tropis yang kaya akan keanekaragaman hayati, produksi bioetanol secara generasi kedua ini akan sangat menguntungkan (Putrasari *dkk.*, 2016).

Sebagai salah satu limbah hayati (biomassa), biji durian merupakan limbah hayati berpotensi tinggi di Indonesia dalam produksi bioetanol. Durian merupakan buah yang populer dan umum ditemukan di seluruh Indonesia, dan rata-rata masyarakat Indonesia mengonsumsi durian sebanyak 1,18 kg/tahun. Produksi durian di Indonesia juga terbilang besar, dimana sekitar 750.000 ton durian diproduksi di tahun 2014 (Indonesia-Investements, 2016). Produksi durian di Indonesia juga diperkirakan akan semakin meningkat pertahunnya, dengan rata-rata sekitar 3,7% dan didampingi dengan peningkatan produktivitas setinggi 4,8%. Di setiap kilogram dari buah durian, sekitar 20-25% dari berat keseluruhan buah merupakan berat dari biji durian (Kumoro *dkk.*, 2020). Kemampuan biji durian sebagai potensi bahan baku dari produksi bioetanol generasi kedua berasal dari kandungan karbohidrat yang dimilikinya. Karbohidrat merupakan gugusan gula yang paling kompleks yang biasa ditemukan pada bahan makanan dan tumbuh-tumbuhan. Pada biji durian, kandungan karbohidrat yang dimiliki bisa setinggi 76,8% dari berat total biji durian tersebut (Mat Amin & Arshad, 2009). Pada umumnya, biji durian tidak ikut dikonsumsi bersamaan dengan buahnya, dan langsung dibuang. Oleh karena itu, dengan besarnya jumlah biomassa dan kandungan karbohidrat dari biji durian ini, biji durian memiliki potensi yang tinggi sebagai bahan baku pembuatan bioetanol di Indonesia.

Dalam perencanaan pembuatan bioetanol generasi kedua ini, optimisasi adalah suatu

metode studi untuk menghasilkan hasil produksi yang paling optimum. Melalui studi optimisasi, berbagai macam variabel yang ditetapkan akan dianalisis pada seluruh fase-fase produksi, dan hasil dari studi ini adalah kondisi yang menguntungkan. Kemudian, hasil optimisasi juga bisa diolah lebih lanjut dan digunakan sebagai bahan prediksi dengan mencari korelasi hubungan antara variabel satu dengan variabel yang lainnya. Metode permukaan respon (*Response Surface Methodology*, RSM) merupakan metode yang paling populer digunakan dalam studi optimisasi. Hal ini disebabkan oleh kemampuan RSM dalam menjelaskan interaksi antara faktor-faktor yang ditetapkan dengan responnya atau hasil yang diprediksi. Desain Box-Behnken di RSM membantu formulasi matriks eksperimen (*Design of Experiment*, DoE) menjadi lebih ringan dengan berlandaskan desain faktorial tiga tingkat (Ferreira *dkk.*, 2007). Penggunaan RSM dibarengi dengan desain Box-Behnken juga merupakan metode yang umum dilakukan dalam studi optimisasi bioetanol (Manmai *dkk.*, 2020; Nurfahmi *dkk.*, 2019; Abdi H. Sebayang *dkk.*, 2017).

Berdasarkan hasil tinjauan di atas, studi ini berujuan untuk melaporkan fase pendahuluan dalam studi optimisasi pada produksi bioetanol dari biji durian. Studi ini menunjukkan metode menformulasikan DoE yang sesuai dengan menggunakan RSM berdesain *Box-Behnken*. Ada empat faktor yang diikutsertakan pada perancangan DoE di studi ini. Hasil dari studi di fase pendahuluan ini akan sangat bermanfaat untuk dikembangkan ke tahap produksi bioetanol langsung dari biji durian.

METODE PENELITIAN

Dikarenakan studi ini berada pada fase pendahuluan, perancangan dalam pembuatan desain eksperimen (DoE) dengan menggunakan metode RSM berbasis Box-Behnken menjadi topik utama di bagian metode penelitian. Namun, beberapa tahap yang mendukung persiapan pembuatan bioetanol juga dibahas supaya dapat memberikan kejelasan yang lebih menyeluruh pada pembuatan bioetanol generasi kedua ini.

1. Pengumpulan bahan biomassa biji durian dan persiapan pra-perlakuan

Biomassa biji durian didapatkan secara domestik dari penjual buah durian di kota Lumajang, Jawa Timur. Biji durian juga didapatkan melalui penjual daring. Biji durian yang sudah dikumpulkan kemudian dibersihkan dengan pencucian dengan air. Setelah pengeringan, biji durian tersebut dikupas kulitnya secara manual menggunakan pisau. Langkah ini berguna untuk memisahkan kandungan lignoselulosa yang terdapat pada kulit biji durian. Biji durian kemudian dikeringkan dengan *furnace* selama delapan jam pada 120°C untuk menghilangkan kandungan airnya. Biji durian yang kering kemudian di hancurkan sampai berbentuk bubuk berukuran 850 µm. Berat massa biji durian ini akan menjadi salah satu faktor yang dimasukkan dalam DoE.

Pada studi ini, biji durian akan dilebur dalam proses hidrolisa dengan menggunakan natrium hidroksida (NaOH) sebagai metode hidrolisa basa. Biji durian akan dihidrolisa dengan menggunakan konsentrasi NaOH yang bervariasi, yang kemudian akan diatur dengan DoE yang diformulasikan.

2. Rancangan formulasi DoE dengan RSM berbasis *Box-Behnken*

Dalam rancangan formulasi DoE pada studi ini, piranti lunak Stat-Ease Design Expert digunakan sebagai alat pembantu. Tujuan hasil dari pembuatan DoE disini adalah supaya menghasilkan jumlah gula pereduksi yang optimal, dimana jenis gula ini akan dimanfaatkan pada proses fermentasi untuk menghasilkan etanol. Pada alat ini, opsi optimisasi melalui RSM dipilih, dan desain *Box-Behnken* juga dipilih selanjutnya. Pada rancangan ini, empat faktor atau variabel dimasukkan berikut dengan rentang nilainya. Empat faktor tersebut adalah berat massa biji durian (gram), konsentrasi NaOH (mol), waktu proses hidrolisa, dan suhu proses hidrolisa. Secara berurutan, faktor-faktor tersebut diberikan kode A, B, C, dan D. Kode nilai -1,000 diberikan pada nilai batas bawah dari rentang nilai yang ditetapkan, sedangkan kode nilai 1,000 diberikan pada nilai batas atas dari rentang nilai. Uraian faktor dan informasi lainnya yang dimasukkan pada *Stat Ease* terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Uraian faktor yang pada persiapan DoE di studi ini

| Variabel | Satuan unit | Rentang nilai | | Rata-rata | Kode nilai | Standar | Kode |
|----------------------------------|-----------------|---------------|------------|-----------|------------------------------|---------|------|
| | | Batas bawah | Batas atas | | | | |
| Berat massa substrat biji durian | Gram per 100 mL | 1 | 5 | 3 | -1,000 = 1; 1,000 = 5 | 1,309 | A |
| Konsentrasi NaOH | Mol | 0.5 | 1.5 | 1 | -1,000 = 0.5; 1,000 = 1.5 | 0,327 | B |
| Waktu proses hidrolisa | Menit | 30 | 90 | 60 | -1,000 = 30; 1,000 = 90 | 19,636 | C |
| Suhu proses hidrolisa | °C | 30 | 90 | 60 | -1,000 = 30; 1,000 = 90 | 19,636 | D |

Dari penetapan nilai-nilai faktor di atas, desain eksperimen akan diciptakan oleh StatEase, dimana akan dihasilkan DoE yang bisa digunakan dalam upaya pembuatan bioetanol yang optimum, yang berasal dari hasil gula pereduksi yang optimum diproduksi dari proses hidrolisa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil desain eksperimen

Dengan menggunakan StatEase dan berdasarkan data dari Tabel 1 yang diolah, eksperimen desain tercipta dengan matriks yang berisi 29 titik percobaan. Disetiap titik percobaan ini merupakan kombinasi dari keempat faktor yang sudah ditetapkan sebelum DoE ini dihasilkan. Rangkuman dari desain eksperimen ini terlihat di Tabel 2 di bawah.

Tabel 2. Desain eksperimen berbasis RSM dan Box-Behnken

| No | Faktor A: | Faktor B: | Faktor C: | Faktor D: |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 60 | 30 |
| 2 | 1 | 1 | 60 | 90 |
| 3 | 1 | 0.5 | 60 | 60 |
| 4 | 1 | 1 | 30 | 60 |
| 5 | 1 | 1.5 | 60 | 60 |
| 6 | 1 | 1 | 90 | 60 |
| 7 | 3 | 1.5 | 60 | 90 |
| 8 | 3 | 1 | 30 | 90 |
| 9 | 3 | 1 | 60 | 60 |
| 10 | 3 | 1 | 60 | 60 |
| 11 | 3 | 1 | 60 | 60 |
| 12 | 3 | 1 | 60 | 60 |
| 13 | 3 | 1 | 90 | 30 |
| 14 | 3 | 1 | 60 | 60 |
| 15 | 3 | 1.5 | 30 | 60 |
| 16 | 3 | 0.5 | 60 | 30 |
| 17 | 3 | 0.5 | 30 | 60 |
| 18 | 3 | 1 | 90 | 90 |
| 19 | 3 | 1.5 | 60 | 30 |
| 20 | 3 | 1.5 | 90 | 60 |
| 21 | 3 | 1 | 30 | 30 |
| 22 | 3 | 0.5 | 90 | 60 |
| 23 | 3 | 0.5 | 60 | 90 |
| 24 | 5 | 0.5 | 60 | 60 |
| 25 | 5 | 1.5 | 60 | 60 |
| 26 | 5 | 1 | 60 | 90 |
| 27 | 5 | 1 | 30 | 60 |
| 28 | 5 | 1 | 90 | 60 |
| 29 | 5 | 1 | 60 | 30 |

b. Evaluasi dan analisis desain eksperimen

Dari Tabel 2 di atas, jumlah titik percobaan yang dihasilkan dari RMS berbasis Box-Behnken ini dapat dibandingkan dengan formulasi matriks titik percobaan jika dilakukan secara tradisional. Dengan total empat faktor yang dijadikan variabel di studi eksperimen ini, secara tradisional perancangan DoE dengan optimisasi tiga tingkat akan menghasilkan matriks dengan ukuran 12 x 12, dimana akan menghasilkan titik percobaan sebanyak 144 titik. DoE yang dihasilkan oleh Box-Behnken sudah mengikutsertakan unsur dari tiga tingkat desain optimisasi, dimana dilakukan dengan pengodean -1, 0 dan 1. Dari perbandingan yang jelas tersebut, perancangan desain eksperimen dengan menggunakan RSM berbasis Box-Behnken akan menghemat banyak komponen. Dalam skala laboratorium, ini termasuk penghematan dalam biaya eksperimen, waktu optimisasi dan total biaya energi yang dikeluarkan dari alat-alat yang digunakan selama eksperimen. Dalam skala komersial, metode ini akan menghemat biaya penelitian dan pengembangan, mempercepat fase optimisasi sehingga bisa menciptakan produksi bioetanol berskala komersial yang efektif dan efisien.

c. Evaluasi model prediksi

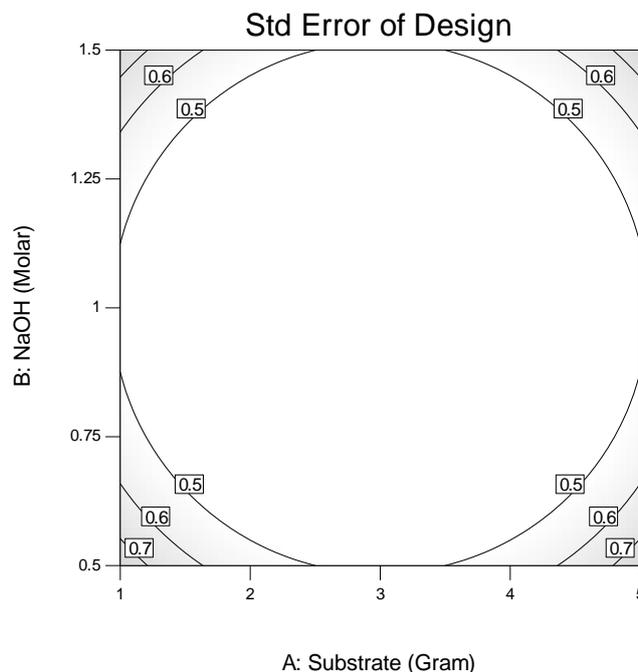
Desain eksperimen yang dihasilkan (Tabel 2) dianalisis lebih lanjut dan digunakan untuk menciptakan model matematika yang bisa memprediksi respon, dimana di studi ini respon yang ditetapkan adalah konsentrasi gula pereduksi dalam satuan gram/ml. Pada studi ini, model prediksi yang dipilih adalah jenis polinomial kuadrat. Secara umum, model polinomial kuadrat memiliki rumus sebagai berikut:

$$y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^n \alpha_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^n \alpha_{ij} x_i x_j + e \quad (1)$$

Penjelasan uraian dari Persamaan (1) adalah: α_0 merupakan nilai intersep dan x_i adalah variabel linier yang mewakili tiap-tiap variabel pada studi. Kemudian, α_{ii} adalah koefisien untuk bagian kuadrat, dimana bagian kuadratnya ditetapkan oleh x_i^2 . α_{ij} merupakan koefisien untuk bagian interaktif antara dua faktor, dimana bagian interaksinya ditetapkan oleh $x_i x_j$. Terakhir, e adalah bagian yang menyatakan sisa error.

Pada studi ini, keempat faktor yang ditetapkan dipasangkan dengan kode faktor A, B, C, D. Setelah keempat faktor tersebut dimasukkan kedalam model polinomial kuadrat diatas, tercipta 14 kombinasi yang dihasilkan dari bagian linier, kuadrat dan interaksi dari polinomial kuadrat tersebut. Secara acak, mereka adalah: A, A², AB, AC, AD, B, B², BC, BD, C, C², CD, D, D². Kombinasi ini menunjukkan faktor yang diikutsertakan pada model prediksi. Pada fase ini, model prediksi ini belum bisa digunakan untuk memprediksi hasil respon, karena titik uji yang disajikan oleh desain eksperimen harus dilakukan diuji terlebih dahulu dan dimasukkan nilai hasil pengujiannya kedalam matriks tersebut. Model prediksi jenis kuadrat di studi ini dianalisis lebih lanjut untuk tingkat validasinya. Dari analisis derajat kebebasan (*Degrees of Freedom*), model ini memiliki komponen *lack of fit* 10 dan error murni 4. Nilai *lack of fit* diatas 3 menunjukkan validnya pengujian *lack of fit*, dan direkomendasikan supaya memiliki komponen error murni minimum 4. Selanjutnya, variasi faktor inflasi (*variance of inflation factor*, VIF) juga diamati pada setiap faktor yang ditetapkan di prediksi model berbasis kuadrat. Pada tiap faktor, nilai VIF menunjukkan 1, kecuali pada faktor kuadrat (A², B², C², D²) dimana memiliki nilai VIF 1,08. Nilai VIF yang mendekati 1,0 adalah yang paling disarankan, karena nilai VIF yang besar (mendekati 100) berindikasi bahwa koefisien yang terdapat pada model tersebut memiliki sifat multikolinier yang lemah, dimana sifat ini sangat tidak diinginkan pada model prediksi kuadrat.

Desain eksperimen yang dihasilkan pada studi ini kemudian dibawa lebih lanjut untuk dianalisis eror standar dari desainnya. Analisis ini bertujuan untuk melihat hubungan dari keempat faktor atau variabel eksperimen yang telah ditetapkan sehingga bisa terlihat area yang memiliki potensi penghasil eror yang paling kecil dan yang paling besar. Gambar 2 di bawah menunjukkan area eror standar desain yang diplot atas faktor A dan B, yaitu berat massa substrat dan konsentrasi NaOH, secara berurutan. Gambar tersebut juga dihasilkan pada kondisi faktor C dan D, yaitu waktu hidrolisa dan suhu hidrolisa, secara berurutan, yang berada di posisi rata-rata, yaitu 60 menit dan 60°C secara berurutan. Pada area yang tidak berbayang (warna putih) menunjukkan rendahnya eror standar pada desain yang dibatasi oleh rentang nilai faktor-faktor yang ditentukan. Ketika mendekati sudut-sudut, barulah eror standar nya mulai

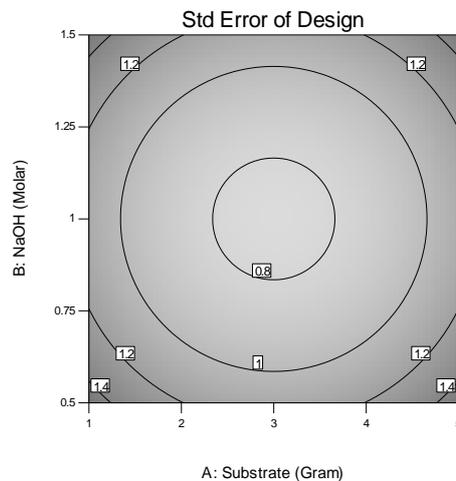


meningkat.

Gambar 1. Area yang menunjukkan eror standar desain pada kondisi faktor C dan D diposisi rata-rata: 60 menit waktu hidrolisa dan 60°C suhu hidrolisa.

Pada pengamatan selanjutnya, Gambar 3 menunjukkan eror standar desain yang sama, hanya saja salah satu faktornya, yaitu waktu hidrolisa, dipindahkan kebatas paling atas dari rentang nilai, yaitu 90 menit. Ketika nilai salah satu faktornya dipindahkan kearah batas atas, standar eror desain akan lebih terlihat jelas dan menyeluruh. Observasi yang sama juga terlihat jika nilai salah satu faktor dipindahkan ke posisi di batas bawah dari rentang nilai yang ditetapkan. Area eror standar desain yang lebih tinggi akan dihasilkan ketika kedua faktor terakhir dipindahkan pada masing-masing batas nilai di rentang nilai yang ditetapkan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah, dimana area bayangan semakin gelap di hamper seluruh bagian. Penampakan yang sama juga akan terlihat jika kedua faktor tersebut berada pada batas atas, pada batas bawah, atau kombinasi atas keduanya. Hal ini merupakan penjelasan secara visual atas karakter dari DoE dengan RSM berbasis Box-Behnken, dimana pada metode ini titik-titik uji yang berada diposisi ujung rentang pada tiap faktor tidak diikutsertakan. Perlu juga diperhatikan bahwa pengamatan ini merupakan analisis atas model prediksi secara teori, dimana hanya bergantung dari jumlah variabel, rentang nilai dan jenis model yang ditetapkan. Untuk menganalisis secara empiris, semua titik pengujian yang dihasilkan (Tabel 2) harus dilakukan dan nilai hasil eksperimen harus diolah lebih lanjut supaya model prediksi diatas

sesuai untuk data empiris. Setelah itu, studi optimisasi bisa dilakukan lebih lanjut untuk menentukan kondisi yang paling optimum dalam menghasilkan jumlah konsentrat gula pereduksi. Gambar 3. Area yang menunjukkan eror standar desain pada kondisi faktor C 90 menit waktu hidrolisa dan faktor D 60°C suhu hidrolisa. Titik-titik yang terlihat terfokus pada



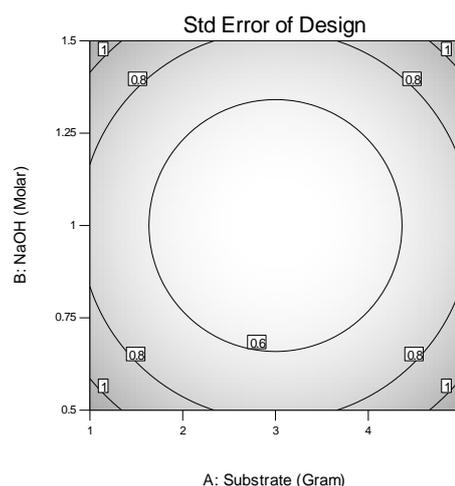
tengah rentang sehingga tidak ikut mencantumkan titik-titik pada sudut-sudut matriks (Ferreira *dkk.*, 2007).

Gambar 2. Area yang menunjukkan eror standar

Gambar 3. Area yang menunjukkan eror standar desain pada kondisi faktor C 90 menit waktu hidrolisa dan faktor D 90°C suhu hidrolisa

KESIMPULAN

Dari studi pendahuluan ini, desain eksperimen (DoE) telah berhasil diformulasikan sebagai alat bantu untuk mengoptimisasi pembuatan bioetanol generasi kedua dari biji durian. DoE yang diciptakan dihasilkan melalui metode RSM berbasis Box-Behnken. Metode ini hanya menghasilkan total titik pengujian sebanyak 29 titik. Jumlah titik pengujian ini jauh sangat lebih sedikit dibandingkan jika pengujiannya dilakukan secara tradisional, dimana 12 x 12 matriks pengujian akan tercipta dan juga berarti sebanyak 144 titik harus diuji secara empiris. Dan jumlah pembacaan datanya akan lebih banyak lagi ketika tiap titik harus dilakukan pengujian sebanyak tiga kali (*triplicate*) untuk meminimalisir eror empiris. Desain eksperimen yang dihasilkan juga dianalisis lebih lanjut untuk keabsahannya, dan model prediksi kuadratik juga diamati. Dari hasil pengamatan dan analisis, desain eksperimen yang



dihasilkan pada studi ini sudah menunjukkan kesesuaiannya. Desain ini disarankan untuk digunakan lebih lanjut untuk dilakukan pengujian secara empiris dalam studi optimisasi sepenuhnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih atas dukungan dari Centre of Research and Community Service, Sampoerna University, dibawah Internal Research Grant Scheme bernomor 022/IRG/SU/AY.2019-2020. Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh Politeknik Negeri Medan (POLMED). Penulis juga mengucapkan terima kasih pada Dr. Arridina Susan Silitonga, S.T., M.Eng yang telah banyak memberikan pelatihan dan bimbingan tentang penulisan jurnal ini.

REFERENSI

- Aditiya, H. B., Chong, W. T., Mahlia, T. M. I., Sebayang, A. H., Berawi, M. A., & Nur, H. (2016). Second generation bioethanol potential from selected Malaysia's biodiversity biomasses: A review. *Waste Management*, 47, 46-61. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15300489>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.031>
- Aditiya, H. B., Theofany, H. C., & Yheni, M. (2019). High-pressurizing green algae in third generation bioethanol production. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402, 044045. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1402/4/044045>. doi:10.1088/1742-6596/1402/4/044045
- Ferreira, S. L. C., Bruns, R. E., Ferreira, H. S., Matos, G. D., David, J. M., Brandão, G. C., . . . dos Santos, W. N. L. (2007). Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica Chimica Acta*, 597(2), 179-186. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267007011671>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.07.011>
- Indonesia-Investments. (2016). Tropical Fruits of Indonesia: Durian, the "King of Fruits". Retrieved from <https://www.indonesia-investments.com/id/business/business-columns/tropical-fruits-of-indonesia-durian-the-king-of-fruits/item7045>
- Kumoro, A. C., Alhanif, M., & Wardhani, D. H. (2020). A Critical Review on Tropical Fruits Seeds as Prospective Sources of Nutritional and Bioactive Compounds for Functional Foods Development: A Case of Indonesian Exotic Fruits. *International Journal of Food Science*, 2020, 4051475. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2020/4051475>. doi:10.1155/2020/4051475
- Manmai, N., Unpaprom, Y., & Ramaraj, R. (2020). Bioethanol production from sunflower stalk: application of chemical and biological pretreatments by response surface methodology (RSM). *Biomass Conversion and Biorefinery*. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00602-7>. doi:10.1007/s13399-020-00602-7
- Mat Amin, A., & Arshad, R. (2009). Proximate composition and pasting properties of durian (*Durio zibethinus*) seed flour. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 1. doi:10.1504/IJPTI.2009.030685
- Ninawe, A. S., Indulkar, S. T., & Amin, A. (2018). Chapter 9 - Impact of Climate Change on Fisheries. In R. L. Singh & S. Mondal (Eds.), *Biotechnology for Sustainable Agriculture* (pp. 257-280): Woodhead Publishing.
- Nurfahmi, Mofijur, M., Ong, H. C., Jan, B. M., Kusumo, F., Sebayang, A. H., . . . Rahman, S. M. A. (2019). Production Process and Optimization of Solid Bioethanol from Empty Fruit Bunches of Palm Oil Using Response Surface Methodology. *Processes*, 7(10). doi:10.3390/pr7100715

- Putrasari, Y., Praptijanto, A., Santoso, W. B., & Lim, O. (2016). Resources, policy, and research activities of biofuel in Indonesia: A review. *Energy Reports*, 2, 237-245. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484716300300>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egy.2016.08.005>
- Salameh, Z. (2014). Chapter 1 - Factors Promoting Renewable Energy Applications. In Z. Salameh (Ed.), *Renewable Energy System Design* (pp. 1-32). Boston: Academic Press.
- Sebayang, A. H., Hassan, M. H., Ong, H. C., Dharma, S., Silitonga, A. S., Kusumo, F., . . . Bahar, A. H. (2017). Optimization of Reducing Sugar Production from Manihot glaziovii Starch Using Response Surface Methodology. *Energies*, 10(1). doi:10.3390/en10010035
- Sebayang, A. H., Masjuki, H. H., Ong, H. C., Dharma, S., Silitonga, A. S., Mahlia, T. M. I., & Aditiya, H. B. (2016). A perspective on bioethanol production from biomass as alternative fuel for spark ignition engine. *RSC Advances*, 6(18), 14964-14992. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1039/C5RA24983J>. doi:10.1039/C5RA24983J
- Worldwide, C. (2019). Global Hunger Index 2019. Retrieved from <https://www.concern.net/insights/global-hunger-index-2019>