

BAB III

METODE

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian terdiri dari beberapa tahap, yaitu tahap pemrosesan data, analisis korelasi Pearson, optimasi struktur ANN, optimasi jenis polimer, optimasi jenis MOF, dan optimasi pengaruh komposisi dan karakteristik membran terhadap performa MMM pada aplikasi pemisahan CO₂/N₂. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret sampai Agustus 2024 di Universitas Pendidikan Indonesia dan domisili peneliti di Kecamatan Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan untuk pemrosesan data Microsoft Excel, Phyton yang dijalankan pada Jupyter Notebook, Matlab, dan Origin 8.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu karakteristik, komposisi, dan performa membran (178 data) yang didapat dari (Guan et al., 2022).

3.3 Metode Penelitian

Data yang didapat diolah menggunakan Microsoft Excel. Kemudian dilakukan analisis korelasi Pearson menggunakan Phyton yang dijalankan pada Jupyter Notebook. Dilakukan juga normalisasi data. Data yang sudah dinormalisasi kemudian dilakukan optimasi jumlah neuron, optimasi jenis polimer, optimasi jenis MOF, dan optimasi pengaruh komposisi dan karakteristik membran terhadap performa MMM pada aplikasi pemisahan CO₂/N₂ dilakukan pada Matlab.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pengumpulan data

Data karakteristik, komposisi, dan performa membran sebanyak 178 data didapat dari (Guan et al., 2022). Data terdiri atas 20 jenis MOF, 19 jenis polimer, *filler size* dengan rentang 0,03-50 μm, BET dari rentang 125- 3175 m²/g, *pore size*

dengan rentang 3,4- 19,90 Å, *aperture size* dengan rentang 3,00-11,00 Å, *loading filler MOF* dengan rentang 0,5-60 %, *thickness* dengan rentang 0,45-400 µm, *temperature* dengan rentang 22-35°C, *pressure* dengan rentang 1-11 bar, CP dengan rentang 0,55- 6576, CS dengan rentang 2,70-57,00, RP dengan rentang 0,50-10,04, dan RS dengan rentang 0,30-4,29. Secara rinci tabel input terdapat pada lampiran.

3.4.2 Pemrosesan data

Data yang telah dikumpulkan dibagi menjadi dua variabel, yaitu variabel kategori (jenis polimer dan jenis MOF) dan variabel numerik (sisanya).

3.4.2.1 Analisis korelasi Pearson

Korelasi Pearson merupakan suatu koefisien yang digunakan untuk menilai kekuatan hubungan linier antara dua variabel. Nilai koefisien ini berkisar antara -1 hingga 1, di mana -1 menandakan adanya hubungan linier negatif yang sempurna, 0 menandakan tidak ada hubungan linier, dan 1 menandakan hubungan linier positif yang sempurna (Baak et al., 2020). Dalam penelitian ini, analisis korelasi Pearson diterapkan untuk memahami hubungan antara berbagai parameter pada membran matriks campuran dan performanya dalam pemisahan CO₂/N₂. Analisis ini dilakukan pada variabel numerik, karena korelasi Pearson merupakan metode statistik yang membutuhkan data numerik untuk menghitung koefisien korelasi di antara berbagai variabel (Jebli et al., 2021). Analisis korelasi Pearson dalam penelitian ini dilakukan menggunakan python jupyter notebook (Nurhayati et al., 2023). Koefisien korelasi setiap fitur dengan target kemudian digunakan untuk menentukan urutan fitur untuk mengembangkan model ANN.

3.4.2.2 Normalisasi

Normalisasi data merupakan langkah untuk mengubah skala data ke dalam rentang tertentu, dari -1 hingga 1, sehingga setiap variabel yang dianalisis memiliki skala yang sebanding (D. Singh & Singh, 2020). Proses ini bertujuan untuk mengurangi potensi bias akibat perbedaan skala atau satuan pengukuran antara variabel-variabel tersebut. Normalisasi ini menggunakan fungsi `mapminmax` di MATLAB R2024a.

Normalisasi data sangat penting dalam penelitian ini karena variabel yang berbeda dalam MMM mungkin memiliki skala yang sangat bervariasi, dan tanpa normalisasi, variabel dengan skala lebih besar dapat mendominasi hasil analisis (D. Singh & Singh, 2022). Selain itu, normalisasi membantu meningkatkan keandalan dalam hasil analisis statistik dan pemodelan, khususnya dalam upaya optimasi komposisi MMM untuk pemisahan gas CO₂/N₂ (D. Singh & Singh, 2020). Dengan demikian, diharapkan bahwa normalisasi data akan menghasilkan analisis yang lebih akurat, sehingga memudahkan identifikasi komposisi MMM yang optimal untuk pemisahan gas CO₂/N₂.

3.4.3 Pembuatan model

ANN adalah jaringan yang saling terhubung secara paralel dari elemen-elemen sederhana dan organisasi hierarkisnya yang dimaksudkan untuk berinteraksi dengan objek-objek dunia nyata dengan cara yang sama seperti sistem saraf biologis (Ünal & Başçiftçi, 2022). ANN terdiri dari setidaknya tiga lapisan (input, lapisan tersembunyi, dan output). Fitur-fitur sebagai lapisan input dikalikan dengan bobot dan bias yang sesuai secara acak, dihubungkan dengan neuron yang sesuai di lapisan tersembunyi menggunakan fungsi aktivasi. output yang diprediksi dihasilkan di lapisan output, yang terhubung dengan lapisan tersembunyi. Dalam penelitian ini, model tersebut terdiri dari satu lapisan tersembunyi. Pelatihan model dilakukan menggunakan fungsi feedforwardnet di MATLAB R2024a, menggunakan algoritma backpropagation Levenberg-Marquardt untuk optimasi dan tan sigmoid (tansig) sebagai fungsi aktivasi.

Parameter jaringan pelatihan mencakup epoch (1000 lintasan lengkap dari set data pelatihan melalui algoritma), gradien (perubahan bobot relatif terhadap galat maksimum 10^{-10}), Mu (konstanta momentum, maksimum = 10^{10}), dan pemeriksaan validasi (1000 iterasi berturut-turut tanpa menurunkan kinerja validasi). Algoritma backpropagation Levenberg–Marquardt digunakan untuk pelatihan, sedangkan sigmoid tan (tansig) digunakan sebagai fungsi transfer. Jumlah neuron dipilih berdasarkan rumus empiris $(\text{input} + \text{output})^{1/2} + 1$ (Deng et al., 2021), dan jaringan dilatih 1 kali. Setelah proses pelatihan, jaringan diimplementasikan melalui dataset pengujian serta seluruh dataset untuk menentukan kinerja prediksi yang terkait

dengan satu lapisan tersembunyi dan dua atau tiga neuron, tergantung pada jumlah prediktor yang terlibat.

Dalam penelitian ini 12 variabel digunakan sebagai input, yaitu *MOF type*, *polymer type*, *filler size*, *BET*, *pore size*, *aperture size*, *loading filler MOF*, *thickness*, *temperature*, *pressure*, *CP*, dan *CS*. Variabel tersebut digunakan untuk memprediksi *RP* dan *RS* (output).

Langkah-langkah optimasi model ANN dimulai dengan mempartisi data yang tersedia secara acak ke dalam tiga set terpisah: set pelatihan (70%), set validasi (15%), dan set pengujian (15%) (Jha & Sit, 2021). Proses optimasi difokuskan pada penentuan jumlah neuron optimal dalam satu lapisan tersembunyi ANN. Dengan menyesuaikan jumlah neuron, kompleksitas dan kapasitas representasi model dapat disempurnakan sehingga menghasilkan peningkatan kinerja (Im et al., 2022).

3.4.4 Aplikasi model

Model yang dikembangkan digunakan untuk optimasi jenis polimer dan MOF serta menentukan komposisi dan karakterisasi membran yang optimal untuk sintesis MMM pada aplikasi pemisahan CO_2/N_2 . Pada optimasi jenis polimer dan MOF menggunakan analisis univariat, sedangkan pada penentuan komposisi dan karakterisasi membran menggunakan analisis bivariat.

3.4.4.1 Analisis univariat

Analisis univariat merupakan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis dan menyajikan data dari satu variabel secara terpisah, tanpa memperhitungkan hubungan atau interaksi dengan variabel lain (Mertler et al., 2021; Percival et al., 2020). Pendekatan ini sangat penting sebagai langkah awal dalam memahami karakteristik data dan untuk menentukan strategi analisis lanjutan yang tepat dalam penelitian optimasi komposisi MMM untuk aplikasi pemisahan gas CO_2/N_2 . Dalam penelitian ini, analisis univariat akan diterapkan untuk mengevaluasi pengaruh individu dari jenis polimer dan jenis MOF terhadap variabel output (*RP* dan *RS*) dalam aplikasi MMM untuk pemisahan CO_2/N_2 .

Pada tahap optimasi jenis polimer, variabel kontrol yang digunakan meliputi *MOF type*, *aperture size*, *BET*, *pore size*, *loading filler MOF*, ketebalan, suhu,

tekanan, serta CP dan CS. Sementara itu, dalam optimasi jenis MOF, variabel kontrol yang digunakan adalah *polymer type*, *aperture size*, BET, *pore size*, *loading filler* MOF, ketebalan, suhu, tekanan, serta CP dan CS. Setiap nilai dari variabel kontrol ini tercantum dalam data yang dilampirkan.

3.4.4.2 Analisis bivariat

Variabel yang memiliki korelasi tertinggi berdasarkan analisis korelasi Pearson akan digunakan dalam analisis bivariat. Analisis bivariat merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara dua variabel sekaligus (Ali et al., 2020). Dalam penelitian ini, analisis bivariat akan diterapkan untuk memahami interaksi antara dua variabel yang memiliki korelasi paling tinggi terhadap nilai RP dan RS (output). Pendekatan ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai keterkaitan antara kedua variabel dan bagaimana hubungan tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan komposisi dan karakteristik MMM dalam aplikasi pemisahan gas CO₂/N₂.