

Vinasse merupakan limbah cair industri bioetanol yang memiliki kandungan *chemical oxygen demand* (COD) tinggi sehingga tidak dapat dibuang langsung ke lingkungan. Salah satu metode pengolahan *vinasse* adalah melalui proses peruraian anaerobik untuk menghasilkan biogas. Performa proses peruraian anaerobik dapat ditingkatkan melalui peningkatan suhu proses ke kondisi termofilik (55°C) maupun penambahan media imobilisasi bakteri. Salah satu media imobilisasi bakteri untuk proses peruraian anaerobik adalah zeolit alam. Pemanfaatan zeolit alam dapat dilakukan langsung ataupun dipreparasi terlebih dahulu dengan proses preparasi asam dan basa serta dengan impregnasi kation sebagai mikro elemen untuk pertumbuhan bakteri. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa proses peruraian anaerobik limbah *vinasse* secara termofilik melalui optimalisasi preparasi zeolit alam sebagai media imobilisasi bakteri. Preparasi zeolit alam dilakukan melalui perlakuan asam (HCl 3 M) dan basa (NaOH 3 M) selama 24 jam pada suhu ruang. Selanjutnya sebagian zeolit tanpa perlakuan (NZ), zeolit perlakuan asam (NZA), dan zeolit perlakuan basa (NZB) diimpregnasi dengan kation besi (FeSO₄ 200 mg/L) dan nikel (NiCl₂ 200 mg/L) melalui perendaman selama 24 jam pada suhu ruang. Hasil zeolit terimpregnasi kemudian diberikan kode NZ-Fe, NZA-Fe, NZB-Fe, NZ-Ni, NZA-Ni, dan NZB-Ni. Selanjutnya kesembilan zeolit alam terpreparasi dimanfaatkan sebagai media imobilisasi pada proses peruraian anaerobik termofilik limbah *vinasse* secara *batch* dengan inokulum *digested vinasse*. Perubahan konsentrasi koloni bakteri selama penyimpanan menyebabkan eksperimen dilakukan dengan jumlah koloni bakteri yang berbeda-beda sehingga perbandingan hasil antar variasi hanya dilakukan pada setiap kelompok eksperimen. Eksperimen pertama (NZ, NZA, NZB) dilakukan dengan inokulum yang memiliki konsentrasi koloni bakteri 2.05 x 10⁵ CFU/mL, eksperimen kedua (NZ-Fe, NZA-Fe, NZB-Fe) dengan konsentrasi bakteri 1.20 x 10³ CFU/mL, dan eksperimen ketiga (NZ-Ni, NZA-Ni, NZB-Ni) dengan konsentrasi bakteri 5.00 x 10² CFU/mL. Hasil penelitian menunjukkan pada kelompok eksperimen yang sama, nilai *methane yield* tertinggi diperoleh dari zeolit dengan proses preparasi basa yakni NZB (69.24 ± 21.67 mL-CH₄/g-sCOD *removal*), NZB-Fe (71.65 ± 1.96 mL-CH₄/g-sCOD *removal*), dan NZB-Ni (38.08 ± 18.57 mL-CH₄/g-sCOD *removal*). Sementara itu berdasarkan perhitungan konstanta kinetika reaksi, zeolit dengan preparasi asam menunjukkan performa terbaik sebagai media imobilisasi bakteri yang ditunjukkan dengan nilai *yield* bakteri metana/VFA (Y_{X2/VFA}) dan *yield* produksi VFA/sCOD (Y_{VFA/sCOD}) terbaik dibanding yang lain. Di sisi lain proses dengan zeolit dengan impregnasi kation Fe (NZ-Fe, NZA-Fe, NZB-Fe) menunjukkan performa lebih baik dibanding zeolit tanpa impregnasi (NZ, NZA, NZB) yang ditandai dengan hasil *methane yield* lebih tinggi meskipun dengan konsentrasi bakteri pada inokulum yang lebih rendah. Oleh karena itu, preparasi asam maupun basa dapat meningkatkan performa proses peruraian anaerobik dengan cara yang berbeda dan dapat ditingkatkan lebih baik lagi dengan adanya impregnasi kation.

Kata kunci: media imobilisasi, peruraian anaerobik, preparasi zeolit,, termofilik, *vinasse*,

With a chemical oxygen demand (COD) high content, vinasse cannot be emitted to the environment. The anaerobic digestion process is an alternative method for processing vinasse to produce biogas. Biogas production can be optimized by increasing the temperature to thermophilic condition (55°C) and adding immobilization media for bacterial growth. A natural zeolite is a good option as immobilization media. The zeolite can be directly utilized or pretreated by acid or base activation and cation impregnation of microelements for enhancing bacterial growth. This research aims to enhance the thermophilic anaerobic digestion process of vinasse by optimizing the preparation of natural zeolite. Firstly, natural zeolite was immersed in acid (HCl 3 M) or base (NaOH 3 M) solution for 24 hours at room temperature. Afterward, a portion of the control zeolite (NZ), acid-activated zeolite (NZA), and base-activated zeolite (NZB) were impregnated with Fe cation (FeSO₄ 200 mg/L) or Ni cation (NiCl₂ 200 mg/L) for 24 hours at room temperature. These cation impregnated zeolites were then named NZ-Fe, NZA-Fe, NZB-Fe, NZ-Ni, NZA-Ni, and NZB-Ni. All zeolites are employed as immobilization media in the batch thermophilic anaerobic process of vinasse with digested vinasse as an inoculum source. The bacterial colony concentration alteration due to preservation led to the processes conducted in different concentrations of a bacterial colony. Consequently, the comparison of each process can only be made in the same group of experiments. The first experiment (NZ, NZA, NZB) was conducted with the bacterial concentration of 2.05×10^5 CFU/mL, while the second (NZ-Fe, NZA-Fe, NZB-Fe) and the third run (NZ-Ni, NZA-Ni, NZB-Ni) runs were conducted with the bacterial concentrations of 1.20×10^3 CFU/mL and 5.00×10^2 CFU/mL. The methane yields of all base-activated zeolites were the highest compared to others in the same group of experiments, i.e., NZB (69.24 ± 21.67 mL-CH₄/g-sCOD removal), NZB-Fe (71.65 ± 1.96 mL-CH₄/g-sCOD removal), and NZB-Ni (38.08 ± 18.57 mL-CH₄/g-sCOD removal). Meanwhile, based on the kinetic constants, all acid-activated zeolites showed the highest yield of methane bacteria to VFA ($Y_{X2/VFA}$) and the yield of VFA/sCOD ($Y_{VFA/sCOD}$). The result implied that acid preparation was the best pretreatment method for natural zeolites as immobilization media. Processes with iron (Fe) impregnated zeolite (NZ-Fe, NZA-Fe, NZB-Fe) resulted in higher methane yield than unimpregnated ones (NZ, NZA, NZB), even in a lower concentration of bacterial colony. In conclusion, both acid and base-activated zeolites improve the performance of the anaerobic digestion process in different ways and can be optimized furthermore by impregnation of cation into zeolites.

Key words: anaerobic digestion, immobilization media, thermophilic, vinasse, zeolite preparation