



**PENGARUH PENCAMPURAN AIR DEMINERALISASI DAN KONDENSAT
TERHADAP EFISIENSI OPERASIONAL BOILER DI PT LOTTE CHEMICAL
TITAN NUSANTARA**

***THE EFFECT OF MIXING DEMINERALIZED WATER AND CONDENSATE ON BOILER
OPERATIONAL EFFICIENCY AT PT LOTTE CHEMICAL TITAN NUSANTARA***

Rizki Dwi Putra¹, Agilusalam², Muhammad Ihsan., M.Si³, Devi Lestariningsih., M.T⁴
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Al-Khairiyah, Cilegon, Indonesia
rizkidwiputra17@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menentukan rasio optimal pencampuran air demineralisasi dan kondensat sebagai air umpan boiler di PT Lotte Chemical Titan Nusantara dengan mempertimbangkan kualitas air dan efisiensi biaya. Parameter yang diuji meliputi pH, konduktivitas, fosfat, silika, dan total besi pada lima variasi rasio: 100% demin, 75:25, 50:50, 25:75, dan 100% kondensat. Hasil menunjukkan peningkatan fraksi kondensat menaikkan pH, konduktivitas, fosfat, dan Fe total secara moderat namun tetap berada dalam batas standar operasional. Rasio 25% demin : 75% kondensat memberikan kualitas air yang aman serta penghematan biaya hingga 67,5%, sehingga dinilai paling optimal untuk efisiensi operasional tanpa mengurangi keandalan sistem.

Kata kunci: air umpan boiler; demineralisasi; kondensat; kualitas air; efisiensi biaya

Abstract

This study determines the optimal mixing ratio of demineralized water and condensate for boiler feedwater at PT Lotte Chemical Titan Nusantara by balancing water quality and cost efficiency. Parameters evaluated were pH, conductivity, phosphate, silica, and total iron for five mixing ratios: 100% demin, 75:25, 50:50, 25:75, and 100% condensate. Increasing condensate fraction moderately increased pH, conductivity, phosphate, and total iron while remaining within operational limits. The 25% demineralized water : 75% condensate ratio provided safe water quality and reduced operating costs by up to 67.5%, making it the optimal composition.

Keywords: boiler feedwater; demineralization; condensate; water quality; cost efficiency

Pendahuluan

Kualitas air umpan boiler menentukan efisiensi pembangkitan uap, stabilitas operasi, serta umur peralatan. Air demineralisasi murni memberikan mutu tinggi karena kandungan ion terlarut sangat rendah, tetapi berbiaya produksi tinggi [2]. Sebaliknya, kondensat hasil pengembalian uap dapat dimanfaatkan kembali untuk menurunkan kebutuhan make-up water, namun kualitasnya dapat terpengaruh kontaminasi dari sistem perpipaan dan korosi [3]. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi rasio campuran air demineralisasi-kondensat terhadap pH, konduktivitas, fosfat, Fe total, dan silika serta dampaknya terhadap efisiensi biaya, untuk mendapatkan rasio operasional

yang paling efektif.

Teori

Air umpan boiler harus dikendalikan untuk mencegah scaling, korosi, foaming, dan carry-over. Konduktivitas mencerminkan jumlah ion terlarut; nilai yang tinggi meningkatkan risiko carry-over dan deposit [2, 4]. pH yang terlalu rendah bersifat korosif, sedangkan pH terlalu tinggi dapat meningkatkan kecenderungan foaming pada kondisi tertentu. Fosfat digunakan pada program internal treatment untuk mengikat kesadahan, Fe total menjadi indikator korosi pada sistem kondensat [4], sedangkan silika harus dijaga rendah karena dapat terbawa uap dan membentuk deposit pada peralatan hilir [5,6].

Metodologi Penelitian

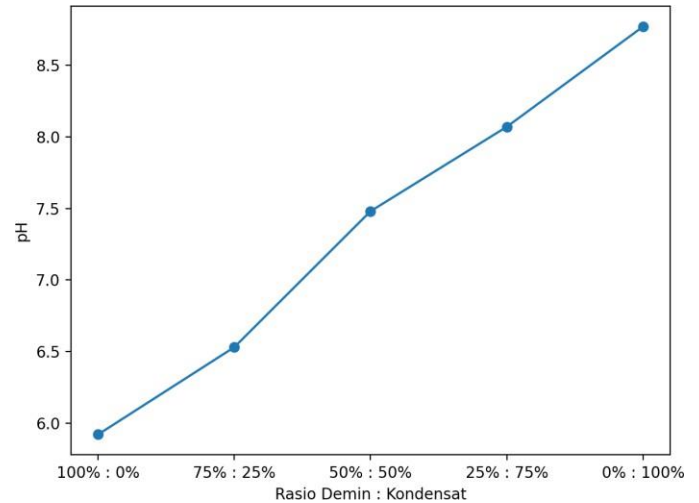
Sampel air demineralisasi dan air kondensat diambil dari sistem pengolahan air PT Lotte Chemical Titan Nusantara. Keduanya dicampurkan pada lima rasio volume: 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, dan 0:100 (demin:kondensat). pH diukur dengan pH meter, konduktivitas dengan conductivity meter, sedangkan fosfat dan Fe total dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil pengujian dibandingkan terhadap standar mutu internal perusahaan. Analisis ekonomi dilakukan dari biaya produksi air demin (konsumsi HCl dan NaOH pada regenerasi) serta asumsi biaya pengelolaan kondensat sebesar 10% dari biaya demin; biaya campuran dihitung berdasarkan fraksi masing-masing.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian mutu air campuran ditunjukkan pada Tabel 1. Peningkatan fraksi kondensat menaikkan pH dari 5,92 (100% demin) menjadi 8,77 (100% kondensat), serta meningkatkan konduktivitas dari 1,62 menjadi 3,07 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Fosfat dan Fe total juga meningkat hingga 2,00 mg/L dan 0,09 mg/L pada 100% kondensat. Seluruh nilai konduktivitas dan Fe total masih berada di bawah batas standar, sedangkan pH masih memerlukan penyesuaian melalui internal treatment sesuai prosedur operasi [1, 2]. Secara ekonomi, biaya air demin sekitar Rp 27.100/ m^3 dan kondensat diasumsikan Rp 2.710/ m^3 . Rasio 25% demin : 75% kondensat menghasilkan biaya campuran sekitar Rp 8.808/ m^3 atau penghematan 67,5% dibanding 100% demin, sehingga menjadi rasio paling optimal dengan margin keamanan mutu yang baik.

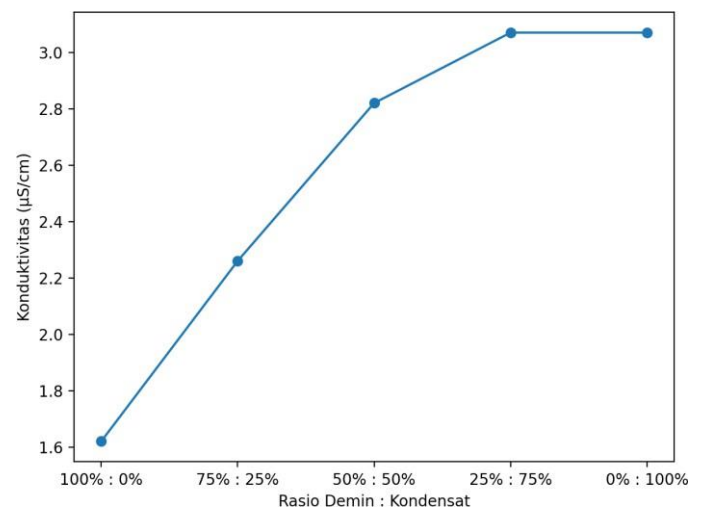
Tabel 1. Hasil Pengujian Parameter Kualitas Air Campuran

Rasio Demin : Kondensat	pH	Konduktivitas ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Fosfat (mg/L)	Fe Total (mg/L)	Silikat (mg/L)
100% : 0%	5,92	1,62	0,00	0,00	—
75% : 25%	6,53	2,26	1,00	0,01	—
50% : 50%	7,48	2,82	1,25	0,02	—
25% : 75%	8,07	3,07	1,75	0,02	—
0% : 100%	8,77	3,07	2,00	0,09	—



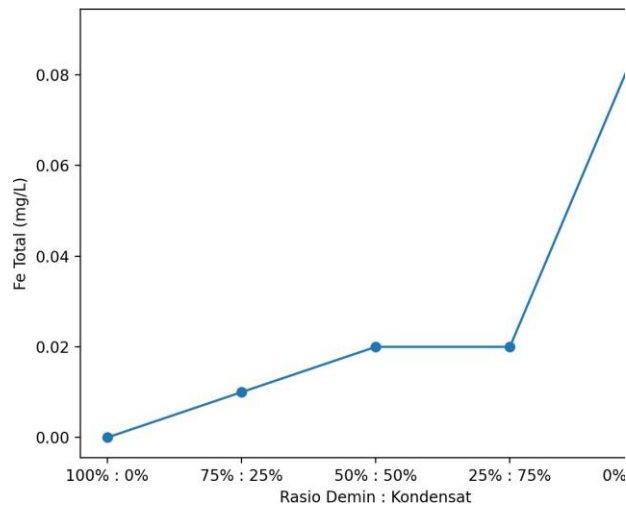
Gambar 1. Grafik hubungan pH terhadap rasio pencampuran

Gambar 1 memperlihatkan tren kenaikan pH seiring bertambahnya fraksi kondensat pada campuran air umpan. Air demineralisasi menunjukkan pH lebih rendah karena cenderung menyerap CO_2 dari udara sehingga bersifat sedikit asam, sementara kondensat dapat membawa jejak bahan kimia pengkondisi (misalnya amina) dan produk reaksi dari siklus boiler-kondensat yang membuat pH relatif lebih tinggi. Meskipun tren pH meningkat, nilai pH campuran hasil uji masih berada di bawah rentang pH operasi boiler yang ditetapkan perusahaan, sehingga pada penerapan lapangan tetap diperlukan penyesuaian pH melalui internal treatment [1, 2]. Dengan demikian, grafik ini menegaskan bahwa komposisi campuran berpengaruh terhadap kebutuhan dosis bahan kimia koreksi pH [2].



Gambar 2. Grafik hubungan konduktivitas terhadap rasio pencampuran

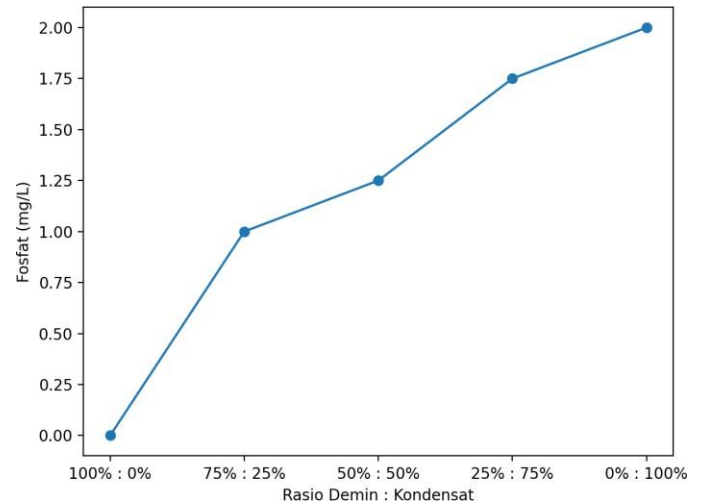
Gambar 2 menunjukkan konduktivitas meningkat bertahap ketika fraksi kondensat diperbesar. Hal ini mengindikasikan adanya penambahan ion terlarut dari jalur kondensat, yang dapat berasal dari korosi ringan pada pipa, kontaminasi minor dari proses, maupun sisa bahan kimia treatment yang ikut kembali bersama kondensat [2, 4]. Walaupun meningkat, seluruh nilai konduktivitas yang terukur masih sangat jauh di bawah batas konduktivitas standar, sehingga secara praktis tidak menimbulkan risiko carry-over uap maupun pembentukan deposit berbasis TDS pada kondisi uji [2]. Grafik ini juga memberi implikasi bahwa peningkatan pemakaian kondensat tetap perlu dibarengi pemantauan konduktivitas sebagai indikator dini terjadinya kebocoran heat exchanger atau kontaminasi proses [2, 4].



Gambar 3. Grafik hubungan Fe total terhadap rasio pencampuran

Gambar 3 memperlihatkan kecenderungan kadar Fe total meningkat pada komposisi dengan fraksi kondensat lebih tinggi [4]. Kenaikan ini konsisten dengan fakta bahwa kondensat berinteraksi dengan sistem perpipaan dan peralatan logam, sehingga Fe dapat muncul sebagai indikator korosi atau kontaminasi dari sistem pengembalian kondensat [4]. Meskipun demikian, nilai Fe total hasil pengujian masih berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan, sehingga dari sisi parameter Fe total campuran masih aman digunakan sebagai air umpan. Pada implementasi industri, tren ini menekankan pentingnya program kontrol korosi (misalnya

pengendalian pH/oxygen scavenger) serta inspeksi jalur kondensat, karena lonjakan Fe total dapat menandakan masalah korosi yang lebih serius.



Gambar 4. Grafik hubungan fosfat terhadap rasio pencampuran

Gambar 4 menunjukkan fosfat meningkat seiring kenaikan fraksi kondensat [2]. Fosfat pada sistem boiler umumnya terkait dengan program internal treatment (phosphate treatment) dan dapat terbawa kembali melalui kondensat dalam jumlah kecil, sehingga peningkatan fraksi kondensat berpotensi menaikkan kadar fosfat terukur pada campuran. Nilai fosfat hasil uji masih jauh di bawah rentang target fosfat operasi, sehingga tidak mengindikasikan risiko foaming atau pembentukan deposit fosfat pada kondisi pengujian ini. Namun demikian, pada operasi kontinu, akumulasi fosfat tetap perlu dikendalikan melalui pengaturan dosis bahan kimia dan blowdown agar konsentrasi berada pada target operasi dan kualitas uap tetap stabil [2].

Kesimpulan

Pencampuran air demineralisasi dan kondensat mempengaruhi pH, konduktivitas, fosfat, dan Fe total secara moderat. Rasio 25% demin : 75% kondensat memberikan kombinasi terbaik antara mutu air yang masih aman (berdasarkan parameter uji) dan penghematan biaya terbesar (67,5%), sehingga direkomendasikan sebagai rasio operasional dengan tetap menerapkan kontrol kualitas kondensat dan penyesuaian pH melalui internal treatment.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT Lotte Chemical Titan Nusantara dan Program Studi Teknik Kimia Universitas Al-Khairiyah atas dukungan fasilitas dan data penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] American Society of Mechanical Engineers (ASME), Operation and Maintenance of Industrial Boilers. New York: ASME, 2021.
- [2] Bryan Steam LLC, Water Treatment for Boilers and Water Heaters: Technical Manual. Indiana: Bryan Boilers, 2020.
- [3] A. Susanto, D. Nugroho, dan R. Prasetyo, "Pemanfaatan kondensat sebagai sumber air umpan boiler pada industri pembangkit: Tinjauan teknis dan ekonomis," Jurnal Energi & Teknologi, vol. 13, no. 2, pp. 45–53, 2022.
- [4] N. Shokri, C. Smith, dan R. Patel, "Challenges and advances in boiler feedwater treatment: A review," Journal of Water Process Engineering, vol. 55, p. 103118, 2023.
- [5] Hach Company, Silica in Boiler Feedwater: Online Monitoring and Control. Colorado: Hach Technical Publication, 2024.
- [6] Metrohm AG, Silica Analysis in Power Plant Water and Steam. Herisau: Metrohm Application Note, 2025.