

Optimasi Injeksi Trisodium Phosphate Pada Air Suplai Boiler Di Unit 4 PLTU Nagan Raya Menggunakan Design Expert Metode Pendekatan Response Surface Bok-Behnken

Fadhil Ramadhan Lubis*

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Kota Lhokseumawe

*Koresponden email: fadhilramadhan33@gmail.com

ABSTRACT

In the steam power plant industry, supporting facilities commonly called BOP (Balance of Plant) include Coal Handling, Ash Handling and WTP (Water Treatment Plant). TSP Trisodium Phosphate is one of the chemicals in water treatment. Besides functioning as a cleaner, TSP also functions to precipitate magnesium, iron, and silica and is able to help maintain the pH value of boiler water. Therefore, this activity was carried out to optimise chemical injection in the water treatment process for boiler water with good quality so as to produce steam with good quality as well. From the analysis results, the optimum injection of chemicals is 0.462 ppm TSP (Trisodium Phosphate) resulting in a pH value of 9.279, SiO₂ (Silicon dioxide) 64.5 ppb, and Na⁺ (Sodium) 0.719 ppb.

Keywords— BOP, WTP, TSP, boiler, steam

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah sistem pembangkit termal yang menggunakan uap air sebagai fluida kerja, dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan poros sudu-sudu turbin. Untuk memproduksi listrik dengan tenaga uap, energi panas yang terkandung dalam bahan bakar digunakan untuk memproduksi uap, yang kemudian dialirkan ke dalam turbin. Turbin tersebut mengubah energi panas menjadi energi mekanis dalam bentuk gerak putar. Karena poros turbin dan poros generator dikopel, generator ikut berputar sehingga menghasilkan listrik. Dalam PLTU, terdapat empat komponen utama yaitu Boiler, Turbin, Condensor, dan Pompa [1].

Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Meulaboh Power Generation (MPG) dengan kapasitas 2 x 225 MW adalah instalasi pembangkit listrik di mana tenaga listrik dihasilkan dari turbin generator yang diputar oleh uap yang dihasilkan boiler melalui pemanasan air oleh pembakaran batu bara. PLTU batu bara merupakan sumber utama listrik dunia, dengan sekitar 60% listrik dunia bergantung pada batu bara, karena PLTU batu bara dapat menyediakan listrik dengan harga yang murah. Jika beroperasi penuh, PLTU PT MPG 2 x 225 MW membutuhkan batu bara sebanyak 49 ribu ton per minggu, dengan pasokan batu bara berasal dari Meulaboh, Aceh.

PT. Meulaboh Power Generation (MPG) adalah perusahaan yang didirikan untuk membangun, memiliki, dan mengoperasikan PLTU dengan kapasitas 2 x 225 MW yang berada di Desa Suak Puntong, Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya, Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. Listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan ke Perusahaan Listrik Negara (PLN). Bahan baku utama yang digunakan adalah air laut, yang melalui beberapa proses, termasuk Water Treatment Plant (WTP) dan Boiler.

Air merupakan salah satu penunjang proses yang sangat penting dalam PLTU. Oleh karena itu, departemen utilitas bertugas mengolah air. Air yang diolah melalui proses Water Treatment biasanya adalah air yang masih kotor dan kemudian diolah melalui serangkaian proses sehingga menjadi air yang layak digunakan, baik untuk kebutuhan proses maupun kebutuhan manusia. Air laut yang digunakan dalam PLTU memiliki kandungan garam hingga 40.000 ppm dan harus diolah terlebih dahulu melalui Water Treatment Plant

(WTP) untuk menjadi air demineral, yang kemudian digunakan sebagai air umpan boiler (boiler feed water). Pengolahan ini bertujuan untuk mencegah terbentuknya karat dan kerak pada boiler serta peralatan lainnya. Kualitas air umpan dipertahankan melalui analisis dan penambahan bahan kimia seperti hidrazin, natrium klorida, dan fosfat. Standar kualitas air umpan mencakup pH 9-10, fosfat 0,3-1 ppm, dan silika di bawah 100 ppm [2,3].

Penelitian ini difokuskan pada optimasi injeksi fosfat untuk menjaga nilai pH air umpan boiler di unit 4 PT. Meulaboh Power Generation. Injeksi fosfat diperlukan untuk menjaga pH dan mencegah korosi dengan mengikat Ca²⁺ dan Mg²⁺ serta pengotor lainnya dalam boiler, sehingga uap yang dihasilkan bebas dari kontaminan. Optimasi injeksi fosfat dilakukan untuk menghindari overfeed fosfat yang dapat menyebabkan kenaikan pH yang tidak terkontrol.

Dalam penelitian ini, data dikumpulkan dari pengamatan langsung dan analisis laboratorium menggunakan spektrofotometer 723C dan DWS-51. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan software Design Expert dengan metode Response Surface Box-Behnken untuk menentukan nilai optimasi. Berdasarkan hasil analisa, konsentrasi anti-scalant yang dibutuhkan untuk menjaga nilai pH dan konsentrasi silika dalam keadaan optimal adalah 0.462 ppm. Konsentrasi silika sebesar 64 ppb dan konsentrasi sodium sebesar 0.719 ppb saat injeksi trisodium phosphate sebesar 0.462 ppm. Kajian engineering lebih lanjut diperlukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan untuk menambahkan analisa jika konsentrasi fosfat murni berubah sesuai ketersediaan pasar.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengelolaan kualitas air umpan boiler, yang merupakan faktor krusial dalam operasional PLTU agar tetap efisien dan andal.

II. METODOLOGI PELAKSANAAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium PT Meulaboh Power Generation dengan lokasi pengambilan sampel air diambil dari inlet boiler feed water. Pengamatan difokuskan pada sampel air umpan boiler pada boiler water feed tank. Indikator kerja pada boiler feed water ini ditinjau dari potensial hidrogen (pH) dan konsentrasi fosfat (PO₄) serta silika (SiO₂). Variabel penelitian dibedakan menjadi dua, yaitu variabel bebas (waktu injeksi anti-scalant fosfat pada

pukul 01:00, 05:00, 09:00, 13:00, 17:00, 21:00) dan variabel terikat (pH, konsentrasi fosfat, dan konsentrasi silika). Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif yang menggunakan data kuantitatif dari observasi langsung di lapangan untuk mengumpulkan data konsentrasi fosfat dan pH dari air umpan boiler unit 4 pada proses Water and Steam Analyzer PT. Meulaboh Power Generation [4]. Teknik pengumpulan data melibatkan pengamatan konsentrasi fosfat dan pH, melihat hubungan konsentrasi fosfat terhadap pH, serta melakukan penarikan kesimpulan dari hasil pengamatan. Persiapan penelitian melibatkan pengambilan sampel air dari Water Boiler Drum dan Superheated Water, yang kemudian diuji menggunakan alat spektrofotometri 723C untuk fosfat, alat DWS-51 untuk natrium, alat HK-218 Benchtop Sillica Meter untuk silika, dan pH meter untuk pH. Data primer diperoleh langsung dari hasil pemeriksaan sampel air di laboratorium, sedangkan data sekunder diperoleh dari buku panduan, jurnal, dan media elektronik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, diberikan penjabaran mengenai hasil serta analisis dari optimasi injeksi fosfat di Water Boiler Drum PT Meulaboh Power Generation. Data yang digunakan dalam analisis dan untuk menentukan optimasi unit ini diperoleh dari hasil analisa laboratorium menggunakan spektrofotometer 723C dan DWS-51. Data tersebut kemudian dianalisis untuk mencari nilai optimasi menggunakan software Design Expert dengan metode Response Surface Box-Behnken. Data yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 1.

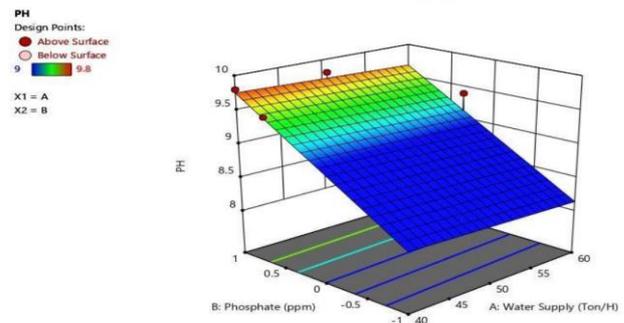
Tabel 1. Data pengamatan dari laboratorium dan formulasi variable Design Expert 13.

Run (Date)	Factor 1 A:Water Supply (Ton/H)	Factor 2 B:Konsentrasi Phosphate (ppm)	Response 1 pH	Response 2 Konsentrasi Silica (ppb)	Response 3 Konsentrasi Natrium (ppb)
1	50	0.9	9.6	42	1
2	40	0.65	9.5	55	0.95
3	60	0.65	9.2	60	0.9
4	60	0.3	9.4	81	0.7
5	50	1	9.8	45	1.1
6	50	0.25	9	95	0.4
7	40	1	9.8	34	1.3
8	50	0.65	9.4	50	0.9

Proses optimasi bertujuan untuk mendapatkan kondisi parameter teknis yang dapat memberikan respon optimal dengan biaya operasi yang ideal dan efisien. Nilai pH, Silica dan Natrium dipengaruhi oleh nilai water supply nilai dosis Trisodium phosphate. Oleh karena itu, untuk mendapatkan respon optimal maka set-up goal harus diatur pada "in range" dengan batas dosis Phosphate bawah adalah 0.3 ppm dan atas adalah 1 ppm. Serta batas bawah water supply 40 Ton/h dan batas atas 60 Ton/H seperti yang digambarkan pada tabel 2. Setelah melakukan formulasi variable awal berdasarkan rekomendasi dari Design Expert dengan menggunakan metode Response Surface Box-Behnken dan dijadikan sebagai dasar pengambilan data pengamatan, serta menjadi acuan untuk menentukan variable respons dari analisa laboratorium test.

Tabel 2. Set up goal variable berdasarkan data analisa

Variabel	Set-Up Goal	Batas Bawah	Batas Atas
Water Supply (Ton/H)	In range	40	60
Phosphate Injection (ppm)	In range	0.3	1
pH	Target = 9.8	9.2	9.8
Concentration SiO ₂ (ppb)	In range	0	100
Concentration Na ⁺ (ppb)	In range	0	3

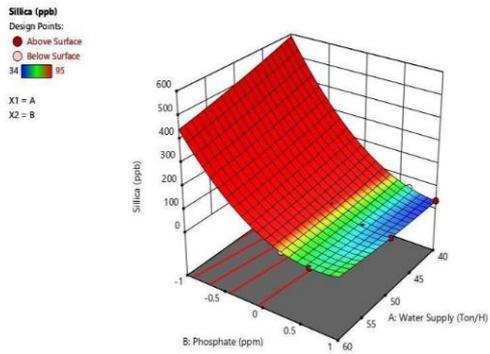


Gambar 1. Grafik hasil analisa Design Expert 13 metode response surface Injeksi Fosfat vs pH

Pada penelitian ini, diberikan penjabaran mengenai hasil serta analisis dari optimasi injeksi fosfat di Water Boiler Drum PT Meulaboh Power Generation. Data yang digunakan dalam analisis dan untuk menentukan optimasi unit ini diperoleh dari hasil analisa laboratorium menggunakan spektrofotometer 723C dan DWS-51. Data tersebut kemudian dianalisis untuk mencari nilai optimasi menggunakan software Design Expert dengan metode Response Surface Box-Behnken. Data yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 1.

Semakin rendah pH ($pH \leq 4$) maka kemungkinan logam tersebut untuk terkorosi semakin besar karena daerah logam terurai menjadi ion logam berada di lingkungan asam. Sedangkan pada daerah pH 4-10, laju korosi baja tidak tergantung dari pH, namun tergantung dari cepat lambatnya difusi oksigen ke permukaan logam. Pada daerah asam ($pH \leq 4$) deposit besi oksida terlarut, pH akan menurun, dan baja kontak langsung dengan larutan. Sedangkan pada pH di atas 10, laju korosi akan berkurang sebab baja membentuk lapisan pasif di permukaannya

Biasanya nilai pH pada air (elektrolit) dapat berbeda dengan pH aktual di permukaan logam tergantung dari reaksi yang terjadi di permukaan. Reduksi oksigen akan menghasilkan ion OH⁻ yang dapat meningkatkan nilai pH, namun di bawah deposit produk korosi nilai pH dapat ditekan. Ketika pH air (elektrolit) moderate (pH = 5), korosi uniform merupakan serangan dominan yang akan semakin meningkat dengan penurunan pH. Pada pH 4 atau < 4 maka lapisan oksida protektif terlarut dan terekspos di permukaan metal. Korosi akan semakin cepat terjadi karena kadar oksigen terlarut berkurang pada permukaan logam di pH rendah. Kedua reaksi yaitu evolusi hidrogen dan reduksi oksigen menjadi reaksi katodik. Pada peningkatan pH di atas 4, besi oksida terpresipitasi dari larutan ke bentuk deposit. Korosi uniform secara tiba-tiba menurun, namun di bawah deposit mulai terbentuk Fe₂O₃ di permukaan metal [5].



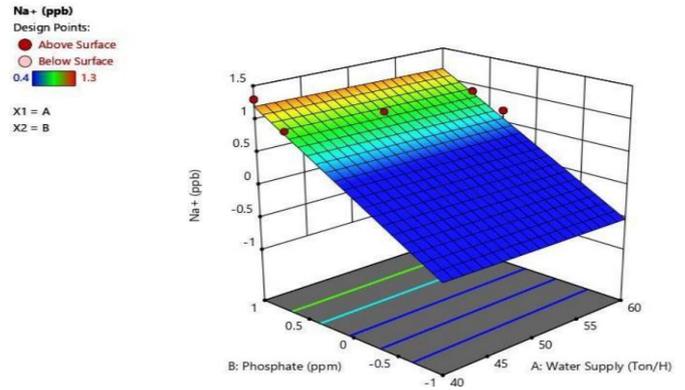
Gambar 2. Grafik hasil analisa Design Expert 13 metode response surface Injeksi Fosfat vs Silica

Pada grafik diatas didapatkan hasil analisa dengan Design Expert metode Response Surface Box-Behnken seperti Pada gambar grafik 2. dapat diamati factor injeksi fosfat dan pengaruhnya terhadap silika yang dianalisa telah mencapai titik operasi tertinggi, bisa dilihat dari warna merah yang ditunjukkan. Sehingga apa bila variable diturunkan, maka akan berhenti dinilai tertinggi yang didapat sekarang yaitu 100 ppb. begitu juga dengan warna biru yang ditunjukkan yang telah mencapai titik minimum dari operasi, yaitu di nilai 20 ppb, sedangkan nilai optimumnya berada di 64 yaitu di area berwarna hijau. Dalam keadaan tertentu, pengukuran kadar silika dan alkalinitas air ketel dapat digunakan untuk mengontrol blowdown. Sodium, lithium, dan molibdat telah digunakan untuk perhitungan akurat suku blowdown dalam unit tekanan tinggi dimana air bebas mineral digunakan sebagai air umpan.

Lolosnya silika pada boiler water menyebabkan scalling pada heat exchanger (reboiler, heater dan sebagainya). Ketika air boiler mengandung garam terlarut dan zat tersuspensi dengan konsentrasi yang tinggi, ada kecenderungan baginya untuk membentuk busa secara berlebihan sehingga dapat menyebabkan steam carryover zat-zat padat dan cairan pengotor kedalam uap. Steam carryover terjadi jika mineral-mineral dari boiler ikut keluar bersama dengan uap ke alat-alat seperti superheater, turbin, dan lain-lain. Kontaminasi-kontaminasi ini dapat diendapkan kembali pada sistem uap atau zat-zat itu akan mengontaminasi proses atau material-material yang diperlukan steam.

Kerak silikat sangat keras dan menjadi penghalang perpindahan panas. Konsumsi bahan bakar meningkat 3 kali lebih banyak dari konsumsi bila jeniskerak “normal” pada tebal yang sama. Langkah-langkah berikut ini diterapkan untuk mencegah masalah kerak yang disebabkan oleh komponen kesadahaan, silika dan lain-lain, tindakan berikut harus diambil:

- Mengurangi pengotor yang masuk ke boiler dengan menggunakan kontrol pH, penghilangan besi, demineralisasi dan sebagainya dari air umpan dan kondensat.
- Melakukan Continious Blowdown dan Intermitten Blowdown secara teratur.
- Penentuan waktu untuk pembersihan kimiawi dan penerapan pembersihan secara berkala untuk memeriksa kondisi adhesi kerak pada tabung penguapan yang diambil dari bagian boiler yang bermuatan panas tinggi.



Gambar 3. Grafik hasil analisa Design Expert 13 metode response surface Injeksi Fosfat vs Natrium

Pada grafik diatas didapatkan hasil analisa dengan Design Expert metode Response Surface Box-Behnken seperti Pada gambar grafik 3. dapat diamati factor injeksi fosfat dan pengaruhnya terhadap natrium yang dianalisa telah mencapai titik operasi tertinggi, bisa dilihat dari warna merah yang ditunjukkan. Sehingga apa bila variable diturunkan, maka akan berhenti dinilai tertinggi yang didapat sekarang yaitu 1.3 ppb. begitu juga dengan warna biru yang ditunjukkan yang telah mencapai titik minimum dari operasi, yaitu di nilai 0 ppb, sedangkan nilai optimumnya berada di 0.7 ppb yaitu di area berwarna hijau.

Kehadiran Na^+ di boiler water harus dihindari karena unsur tersebut sangat mudah berikatan dengan hidroksida (OH^-) dan klorida (Cl^-) yang bersifat korosif pada material di system uap air di PLTU.

Tabel 3. hasil optimasi dan solusi variable berdasarkan Desirability Function

No	Water Supply	Phosphate Injection (ppm)	pH	Silica Concentration (ppb)	Natrium Concentration (ppb)	Desirability	
1	54.962	0.462	9.279	64.500	0.719	0.872	Selected
2	55.098	0.462	9.278	64.500	0.719	0.872	
3	54.852	0.462	9.279	64.500	0.719	0.872	
4	55.126	0.462	9.278	64.500	0.719	0.872	
5	54.766	0.462	9.279	64.500	0.719	0.872	
6	55.238	0.463	9.278	64.500	0.719	0.872	
7	54.671	0.462	9.280	64.500	0.719	0.872	
8	55.354	0.463	9.278	64.500	0.719	0.872	
9	54.584	0.461	9.280	64.500	0.719	0.872	
10	55.435	0.463	9.278	64.500	0.719	0.872	
11	55.554	0.463	9.277	64.500	0.719	0.872	
12	54.336	0.461	9.281	64.500	0.720	0.872	
13	60.000	0.898	9.593	64.500	1.079	0.800	
14	60.000	0.711	9.450	59.529	0.922	0.761	

Pada tabel 3. adalah tabel perhitungan optimasi berdasarkan metode Optimazation Numerical. Pada tahap ini diperoleh 14 temuan solusi. Nilai optimasi untuk Injeksi fosfat adalah 0.426 ppm dan water supply 54.962 dengan nilai desirability adalah 0.872. Selama operasi di PT Meulaboh Power Generation, dosis penggunaan TSP (Trisodium Phosphate) adalah 2-6 ppm, hal ini dikarenakan sering terjadinya pergantian air boiler karena masih dalam tahap commissioning, namun pada saat penelitian ini dilakukan sudah hampir mendekati kondisi operasi normal.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan, diperoleh nilai optimasi sebagai berikut: konsentrasi anti-scalant yang dibutuhkan untuk menjaga nilai pH dan konsentrasi silika dalam keadaan optimal adalah 0.462 ppm; konsentrasi silika sebesar 64 ppb saat injeksi trisodium phosphate sebesar 0.462 ppm; dan konsentrasi sodium sebesar 0.719 ppb saat injeksi trisodium phosphate sebesar 0.462 ppm. Sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, perlu dilakukan kajian engineering lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, serta menambahkan beberapa analisa jika konsentrasi fosfat murni berubah sesuai ketersediaan pasar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kurniawan, 2012. Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Jurnal Teknik Elektro. Gesik: Universitas Muhamadiyah Fresik..
- [2] Fatimura. (2018). Study Analisa Kualitas Air Boiler Menggunakan Standar American Society of Mechanical Engineers (ASME). Jurnal Redoks, 1-11
- [3] Fatimura. M. (2017). Tinjauan Teoritisme Permasalahn Boiler Feed Water Pengoperasian Boiler yang Dipergunakan dalam Industri. Jurnal Media Teknik.
- [4] Ryan, Siregar, 2022, Optimasi Unit High Density Sedimentation Tank Di Water Treatment Plant PT. Meulaboh Power Generation, Lhokseumawe.
- [5] Eka Febriyanti1, Amin Suhadi, Johny Wahyuadi. 2008. Pengaruh Waktu Perendaman Dan Penambahan Konsentrasi NaCl (ppm) Terhadap Laju Korosi Baja Laterit, Jurnal Mesin Teknologi (SINTEK Jurnal) Volume 11 No. 2