

EVALUASI PENGOPERASIAN SISTEM INJEKSI BAHAN KIMIA PENGENDALI PH (PAQ03) PADA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR RSG-GAS

Diyah Erlina Lestari, Setyo Budi Utomo, Harsono, Amril
PRSG-BATAN

ABSTRAK

EVALUASI PENGOPERASIAN SISTEM INJEKSI BAHAN KIMIA PENGENDALI pH (PAQ03) PADA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR RSG-GAS. Sistem injeksi bahan kimia pengendali pH(PAQ03) merupakan salah satu sistem pengendali kualitas air pendingin sekunder yang berfungsi untuk mengendalikan pH pada sistem pendingin sekunder. Sebagai bahan kimia pengendali pH yang digunakan adalah larutan asam sulfat (H_2SO_4) 10 % yang dalam penginjeksiannya menggunakan dua pompa dan dioperasikan secara manual kontinyu pada saat sistem pendingin sekunder beroperasi. Telah dilakukan evaluasi pengoperasian sistem injeksi bahan kimia pengendali pH(PAQ03). Evaluasi dilakukan dengan mengamati kebutuhan bahan kimia , laju injeksi bahan kimia dengan perubahan pH yang terjadi pada air pendingin sekunder dalam kondisi air pendingin sebelum dan sesudah dilakukan pembersihan kolam pendingin sekunder. Dari pengamatan menunjukkan bahwa pengoperasian injeksi bahan kimia pengendali pH(PAQ03) secara manual kontinyu belum dapat menurunkan pH air pendingin sekunder , tergantung pada kualitas air pasokan dan perlakuan pengendalian kualitas air lainnya tetapi dapat mempertahankan pH air pendingin sekunder pada batasan yang diizinkan yaitu dibawah 8.

ABSTRACT

EVALUATION OPERATION OF INJECTION CHEMICAL pH CONTROL SYSTEM (PAQ03) ON SECONDARY COOLING SYSTEM RSG - GAS REACTOR . *The injection chemical pH control system (PAQ03) is one of the quality control system of secondary cooling water which is used to control the pH in the secondary cooling system . As pH control chemicals used is a solution of sulfuric acid (H_2SO_4) 10 % are in injected by using two pumps and manually operated continuously during pH secondary cooling system operates . The evaluation operation of the injection chemical control system (PAQ03) has been performed. Evaluation is done by observing the needs of chemicals , chemical injection rate with pH changes that occur in the secondary cooling water in the cooling water conditions before and after cleaning the secondary cooling pond . From the observations show that the operation of injection chemicals pH system (PAQ03) manually continuously, can not lowering the pH secondary cooling water, depending on the quality of water supply and other water treatment quality control but can maintain the pH secondary cooling water to the extent that is permitted under 8.*

PENDAHULUAN

Sistem pendingin sekunder adalah tempat pembuangan panas yang terakhir dari reaktor. Panas yang terbentuk pada sistem pendingin primer dipindahkan ke sistem sekunder melalui alat penukar panas dan akhirnya dibuang ke atmosfer melalui menara pendingin. Sistem Pendingin sekunder Reaktor RSG-GAS merupakan sistem Pendingin sirkulasi ulang terbuka yang menggunakan air sebagai media pemindah panasnya. Kualitas air pendingin akan mempengaruhi integritas komponen dan struktur reaktor. Oleh karena itu air yang digunakan sebagai pendingin harus memenuhi persyaratan yang sesuai dengan komponen dan struktur yang dirumuskan dalam spesifikasi kualitas air pendingin. Untuk mengendalikan kualitas air pendingin sekunder, pada sistem pendingin sekunder reaktor RSG-GAS dilengkapi dengan sistem injeksi bahan kimia pengendali kualitas air, yang salah

satunya adalah sistem injeksi bahan kimia pengendali pH (PAQ03). Sebagai bahan untuk pengendali pH air pendingin sekunder digunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) dengan konsentrasi 10 %. Bahan kimia ini diinjeksikan ke dalam pipa pendingin sekunder menggunakan pompa injeksi. Dengan mengoperasikan sistem injeksi bahan kimia pengendali pH (PAQ03), maka pH air pendingin sekunder akan diturunkan hingga batas kondisi yang telah ditetapkan. Pada saat sekarang ini sistem injeksi pengendali pH (PAQ03) dioperasikan dengan moda manual secara kontinyu pada saat sistem pendingin sekunder beroperasi.

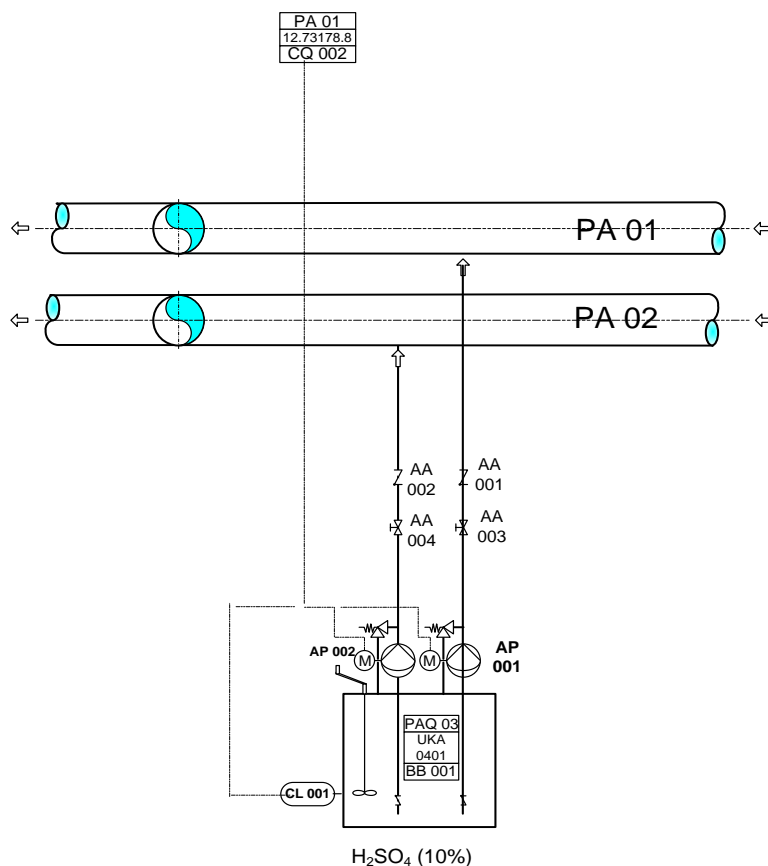
Asam sulfat merupakan bahan kimia yang bersifat korosif. Sifat korosif ini disebabkan oleh ion pembawa sifat asam, yaitu ion H^+ . Sifat korosif asam adalah sifat asam yang dapat merusak benda apa saja yang mengenainya, baik logam maupun non logam. Sedangkan dalam sistem pendingin sekunder asam sulfat (H_2SO_4) 10 % berfungsi untuk menurunkan

pH air pendingin. Oleh karena itu jumlah asam sulfat yang diinjeksikan ke dalam sistem pendingin sekunder perlu dijaga agar pengendalian kualitas air tetap terpenuhi. Dalam tulisan ini akan dievaluasi pengoperasian sistem injeksi bahan kimia pengendali pH (PAQ03) dengan kondisi air pendingin sekunder sebelum dan sesudah dilakukan pembersihan terhadap kolam air pendingin sekunder. Evaluasi dilakukan dengan cara mengamati kebutuhan bahan kimia, perubahan pH pada air pendingin sekunder serta memperhatikan laju injeksi asam sulfat (H_2SO_4). Dengan dilakukan evaluasi tersebut, diharapkan akan diperoleh gambaran mengenai efektifitas sistem injeksi jika dioperasikan secara otomatis dengan melakukan pengendalian berdasarkan range pH sesuai yang telah ditetapkan dalam batas kondisi operasi sistem.

TEORI

Sistem injeksi bahan kimia pengendali pH ⁽¹⁾ merupakan salah satu sistem pengendali kualitas air pendingin sekunder yang berfungsi untuk mengendalikan pH air pada sistem pendingin sekunder pada batas yang telah ditetapkan. Sebagai bahan kimia pengendali pH yang digunakan adalah

larutan asam sulfat (H_2SO_4) 10 % yang diinjeksikan menggunakan dua pompa ke dalam pipa pendingin sekunder jalur 1 dan jalur 2. Komponen sistem injeksi bahan kimia pengendali pH terdiri dari tangki tampung (PAQ03 BB 001), pipa, pompa injeksi, katub dan *nozzle*. Tangki tampung (PAQ 03 BB 001) berada diruang sistem air bebas mineral dan bagian injeksi bahan kimia berada pada pipa pendingin sekunder yang berada diruang pompa pendingin sekunder - 6 m gedung bantu. Tangki tampung PAQ03 BB001 adalah tangki yang berfungsi untuk menampung bahan kimia larutan asam sulfat (H_2SO_4) 10 % yang berfungsi sebagai pengendali pH pada sistem pendingin sekunder. Larutan asam sulfat (H_2SO_4) yang ditampung pada tangki ini selanjutnya diinjeksikan ke dalam saluran pipa air pendingin sekunder untuk mengendalikan pH. Pompa injeksi larutan asam sulfat (H_2SO_4) dirancang untuk melakukan dua jalur injeksi, dimana satu jalur dipergunakan untuk melakukan injeksi kedalam pipa air pendingin sekunder jalur satu (PA 01) sedang jalur yang lain untuk menginjeksi kedalam pipa air pendingin sekunder jalur dua (PA 02). Gambar sistem injeksi larutan asam sulfat (H_2SO_4) 10 % ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem pengendali pH(PAQ03)

Pengendalian pH Dengan Asam Sulfat (H₂SO₄)
 (2.3)

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasahan yang dimiliki oleh suatu larutan. Suatu larutan dikatakan mempunyai pH normal apabila menunjukkan angka 7 sementara apabila nilai pH >7 menunjukkan bahwa larutan tersebut memiliki sifat basa sedang apabila nilai pH < 7 menunjukkan bahwa larutan tersebut bersifat asam. Suatu larutan yang mempunyai pH 0 menunjukkan bahwa larutan tersebut mempunyai derajat keasaman yang tinggi sedangkan suatu larutan yang mempunyai pH 14

menunjukkan bahwa larutan tersebut derajat kebasahan yang tinggi.

Konsep pH pertama kali diperkenalkan oleh kimiawan Denmark Søren Peder Lauritz Sørensen pada tahun 1909. pH adalah singkatan dari power of Hydrogen. Secara umum didefinisikan bahwa pH adalah minus logaritme konsentrasi hydrogen.

$$pH = -\log[H^+] \dots\dots\dots (1)$$

pH umumnya diukur menggunakan elektrode gelas yang mengukur perbedaan potensial *E* antara elektrode yang sensitif dengan aktivitas ion hydrogen dengan elektrode referensi. Perbedaan potensial pada elektrode gelas ini idealnya mengikuti persamaan Nernst:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \log_e(a_H); \quad pH = \frac{E^0 - E}{2,303RT/F}$$

dengan *E* adalah potensial terukur, *E*⁰ potensial elektrode standar, *R* tetapan gas, *T* temperatur dalam kelvin, *F* tetapan Faraday, dan *n* adalah jumlah elektron yang ditransfer. Potensial elektrode *E* berbanding lurus dengan logaritma aktivitas ion hydrogen.

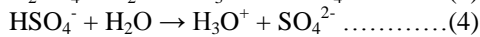
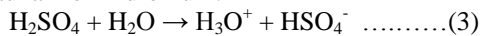
Asam sulfat (H₂SO₄), merupakan asam mineral yang kuat dengan massa molar : 98,079 g/mol dan massa jenis(ρ)= 1,84 g/cm³. Asam sulfat (H₂SO₄) berupa cairan tidak berwarna, kental seperti minyak, mudah larut dalam air, dan tergolong asam diprotik. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan

Asam sulfat(H₂SO₄), merupakan asam mineral yang sangat korosif. Sifat korosif ini disebabkan oleh pembawa sifat asamnya, yaitu ion H⁺. Sifat korosif dari asam sulfat menunjukkan sifat asamnya sangat kuat. Sifat korosif asam adalah sifat asam yang dapat merusak benda apa saja yang mengenyainya, baik logam maupun non logam. Logam yang peranannya sangat besar dalam kehidupan kita, akan mengalami korosi ketika terkena asam. Ion H⁺ dari asam sulfat mengalami reduksi sedang benda-benda itu akan mengalami oksidasi, oleh karena itu benda akan rusak apabila terkena asam.

Reaktor RSG-GAS, menggunakan asam sulfat (H₂SO₄) sebagai bahan kimia pengendali pH pada sistem pendingin sekunder. Asam sulfat yang digunakan untuk mengendalikan pH pada sistem pendingin sekunder di Reaktor RSG-GAS adalah larutan asam sulfat (H₂SO₄) 10%. Sedangkan bentuk umum asam sulfat (H₂SO₄) adalah larutan dengan konsentrasi 98%, yang secara umum disebut asam sebagai sulfat pekat. Oleh karena itu untuk mendapatkan larutan asam sulfat (H₂SO₄) dengan konsentrasi ± 10% perlu dilakukan pengenceran. Proses pengenceran adalah dengan mencampurkan larutan asam sulfat pekat (konsentrasi tinggi) dengan zat cair pelarut yang pada umumnya menggunakan air suling, sehingga akan diperoleh volume akhir yang lebih besar.dengan konsentrasi yang kecil

Asam sulfat (H₂SO₄), bersifat eksotermis sehingga dalam pembuatan asam sulfat encer akan berbahaya karena terjadinya pelepasan panas selama proses pengenceran. Agar panas itu hilang dengan aman, maka asam sulfat (H₂SO₄) pekat yang harus ditambahkan kedalam air, tidak boleh sebaliknya. Jika suatu larutan senyawa kimia asam sulfat (H₂SO₄) pekat dilarutkan ke air, panas yang dilepaskan sedemikian besar dapat menyebabkan air mendadak mendidih dan menyebabkan asam sulfat memercik. Pelarut harus ditambahkan sedikit demi sedikit sampai diperoleh volume larutan yang sesuai dengan hasil perhitungan pengenceran.

Reaksi hidrasi asam sulfat sangatlah eksotermik. Air memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada asam sulfat dan cenderung mengapung di atasnya, sehingga apabila air ditambahkan ke dalam asam sulfat (H₂SO₄) pekat, ia akan dapat mendidih dan bereaksi dengan keras. Reaksi yang terjadi adalah pembentukan ion hidronium:



Asam sulfat (H₂SO₄) adalah zat pendehidrasi yang sangat baik dan karena sifat inilah maka asam sulfat dapat dipergunakan untuk mengeringkan buah-buahan. Afinitas asam sulfat terhadap air cukuplah

kuat, sehingga asam ini dapat memisahkan atom hidrogen dan oksigen dari suatu senyawa.

Sistem Pendingin Sekunder ⁽⁵⁾

Sistem pendingin sekunder adalah tempat untuk pembuangan panas yang terakhir dari reaktor, panas yang terbentuk pada sistem primer dipindahkan ke sistem sekunder melalui alat penukar panas dan akhirnya dibuang ke atmosfer melalui menara pendingin.Sistem ini dirancang mampu membuang panas total 33000 KW (tidak termasuk pendingin untuk eksperimen) dan terdiri dari 2 bagian pemipaan yang masing-masing bagian kapasitasnya 50 %. Tiap bagian pemipaan tersebut terdiri dari pompa, alat penukar panas, saluran pipa dan blok-blok menara pendingin. Dua blok menara pendingin yang masing-masing terdiri dari 3 modul menara pendingin. Selain itu disediakan modul ketujuh di atas kolam menara pendingin yang sama untuk membuang panas tambahan yang berasal dari eksperimen di dalam kolam reaktor.

Sistem pendingin sekunder didisain juga mampu mendinginkan air primer, sehingga suhu aliran inlet ke kolam reaktor tidak melebihi 40⁰C.

Pada sistem pendingin sekunder pipa yang berada di dalam kolam menara pendingin terbuat dari *stainless steel*. Pipa serta katup yang berada di luar gedung reaktor terbuat dari bahan *carbon steel* sedangkan pipa dan katup di dalam gedung reaktor terbuat dari bahan *stainless steel*.

Untuk menjaga kualitas air pada sistem pendingin sekunder dilengkapi sistem injeksi bahan kimia yang terdiri dari :

- Sistem injeksi bahan kimia pengendali pertumbuhan mikroorganism (PAQ01)
- Sistem injeksi bahan kimia inhibitor korosi (PAQ02)
- Sistem injeksi bahan kimia pengendali pH (PAQ03)

Tabel 1. Spesifikasi Kualitas Air Pendingin Sekunder

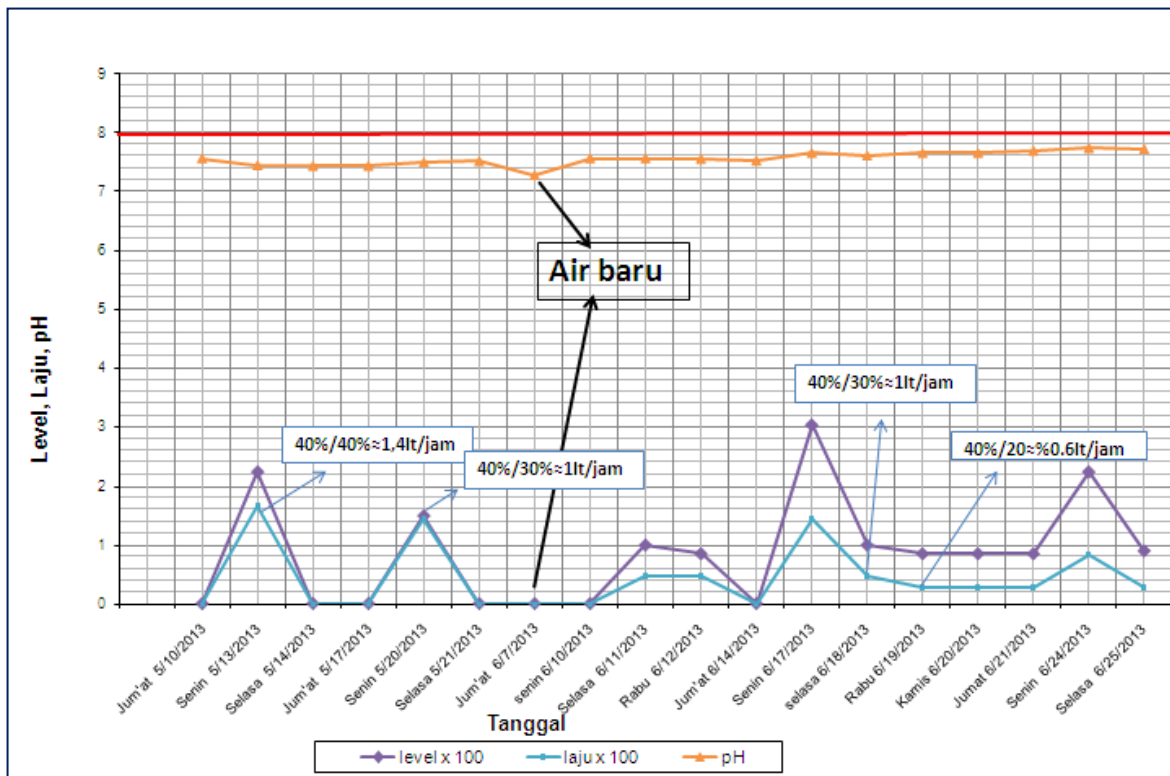
pH	: 6,5 – 8
Konduktivitas normal	: 850 - 950 μs/cm
Konduktivitas Maks	: 1500 μs/cm
Kalsium sebagai CaCO ₃ maks	: 280 ppm
SO ₄ ⁻² maks	: 320 ppm
Hardness total maks	: 480 ppm
Fe total maks	: 1 ppm
Cl ⁻ maks	: 177.5 ppm
Laju korosi maks	: 3 mpy
Jumlah bakteri	: 10 ⁶ bakteri/ml

METODE EVALUASI

1. Dilakukan pemantauan *level* tangki penampung bahan kimia pengendali pH (tangki penampung larutan asam sulfat (H₂SO₄) 10%.
2. Dilakukan pemantauan laju alir pompa injeksi larutan asam sulfat (H₂SO₄) 10%.
3. Dilakukan pemantauan perubahan pH air pendingin sekunder
4. Pemantauan dilakukan pada saat kondisi sebelum dan sesudah air sistem pendingin sekunder dibersihkan.
5. Membandingkan hasil monitoring dengan kejadian yang berkaitan dengan pengendalian kualitas air

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengoperasian sistem injeksi bahan kimia pengendali pH (PAQ03) mengikuti pengoperasian sistem pendingin sekunder. Pada umumnya sistem pendingin sekunder dioperasikan hari Jum'at dan dimatikan hari Selasa. Oleh karena Sabtu dan Minggu libur maka hari Sabtu dan Minggu tidak dilakukan pemantauan. Hasil pemantauan perubahan pH yang terjadi pada air pendingin sekunder dan data yang berkaitan dengan *water treatment*, ditampilkan pada Lampiran 1 dan Gambar 2



Gambar 2: Grafik kebutuhan bahan kimia dan perubahan pH versus waktu

Dari Lampiran 1 dan Gambar 2 terlihat bahwa kebutuhan bahan kimia secara perhitungan berdasarkan laju alir pompa injeksi berbeda dengan pengurangan *level* tangki penampung, dimana berdasarkan *level* tangki penampung menunjukkan angka yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena laju alir injeksi merupakan spesifikasi dari pompa injeksi bahan kimia yang bekerja pada kondisi standart normal (pada kondisi *Standard Temperature and pressure* = STP). Sedangkan pada saat sistem pendingin sekunder beroperasi, tekanan hisap pompa pendingin sekunder lebih besar dari pada tekanan

pada pompa injeksi bahan kimia, sehingga bahan kimia akan tersedot oleh pompa pendingin sekunder yang mengakibatkan laju alir pompa injeksi menjadi naik dan bahan kimia yang keluar dari tangki penampung akan lebih besar, Sebagai contoh dengan mengoperasikan laju alir pompa injeksi 40/40(posisi skala frekuensi pada 40% dan gerakan tuas 40%) yang setara dengan 1,4 liter/jam diperkirakan kebutuhan bahan kimia larutan asam sulfat yang adalah 67,2 liter/hari, tetapi dalam kenyataannya bahan kimia yang tertuang/terinjeksi ke dalam pipa sistem pendingin

sekunder lebih besar dari volume tersebut. Oleh karena itu sering terjadi pada senin sistem injeksi larutan asam sulfat mati karena kekurangan bahan kimia. Seperti kejadian pada tanggal 10 Mei 2013 menurut perhitungan berdasarkan laju alir pompa injeksi, besarnya kebutuhan bahan kimia yang ditambahkan ke dalam air pendingin sekunder dari hari Jum'at hingga hari Senin diperkirakan sebanyak 167.2 liter, tetapi dalam kenyataan larutan asam sulfat yang tertuang ke dalam system pendingin sekunder sebanyak 225 liter, sehingga pada hari Senin 13 Mei 2013 sistem injeksi sudah dalam keadaan mati karena kekurangan bahan kimia. Hal yang berbeda terlihat pada Gambar 2 dimana kejadian 20 Mei 2013 menunjukkan bahwa larutan asam sulfat (H_2SO_4) yang diinjeksikan ke dalam air air pendingin sekunder tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antara perhitungan berdasarkan laju alir pompa injeksi dengan pengurangan *level* tangki penampung. Hal ini disebabkan karena satu pompa injeksi pada hari Senin diketahui terganggu dan injeksi tidak lancar, tapi kapan mulai terganggu tidak tahu pasti karena libur sehingga perhitungannya diperhitungkan dalam kondisi lancar. Apabila dilihat secara keseluruhan dari Gambar 2 terlihat bahwa kebutuhan larutan asam sulfat (H_2SO_4) yang diinjeksikan ke dalam air air pendingin sekunder sekitar 2 kali berdasarkan perhitungan laju alir pompa injeksi bahan kimia.

Data tanggal 10 Mei 2013 s/d 22 Mei 2013 merupakan data pada saat kondisi air sebelum dilakukan pengurusan kolam sistem pendingin sekunder. Pada saat kondisi air sebelum dilakukan pengurusan, injeksi bahan kimia larutan asam sulfat (H_2SO_4) diinjeksikan untuk masing masing pompa dengan laju alir 40/40 yang setara dengan 1,4 liter/jam. Dari Gambar 2 terlihat bahwa tidak terlihat perubahan yang menonjol dengan adanya perubahan laju alir pompa injeksi, bahkan pada saat sistem injeksi bahan kimia pengendali pH (PAQ03) tidak beroperasi,, tidak menunjukkan adanya kenaikan pH air pendingin sekunder. Larutan asam sulfat (H_2SO_4) 10% pada sistem injeksi bahan kimia pengendali pH akan menurunkan pH air pendingin sekunder. Oleh karena itu jika sistem injeksi bahan kimia pengendali pH tidak beroperasi maka, seharusnya pH air pendingin sekunder akan naik. Hal ini menunjukkan bahwa pH air pendingin sekunder tidak hanya tergantung pada pengoperasian sistem injeksi bahan kimia pengendali pH. Seperti terlihat pada data Senin tanggal 13 Mei 2013 dimana pada saat itu sistem injeksi bahan kimia pengendali pH tidak beroperasi tetapi hasil pemantauan terhadap pH air pendingin sekunder malah menunjukkan penurunan. Hal ini disebabkan karena hari Senin terjadi *blowdown* otomatis. *Blowdown* otomatis terjadi

apabila konduktivitas air pendingin sekunder menunjukkan 950 $\mu S/cm$ dan katub otomatis tertutup apabila konduktivitas air pendingin sekunder menunjukkan 850 $\mu S/cm$. Konduktivitas air menunjukkan besaran yang menggambarkan banyaknya garam - garam yang terlarut dalam air, dengan besarnya konduktivitas air menunjukkan bahwa semakin besar pengotor dalam air. Dengan adanya *blowdown* pada sistem pendingin sekunder akan menyebabkan penurunan *level* kolam sistem pendingin sekunder dan apabila *control level* terendah telah tercapai maka akan terjadi penambahan (*make up water*) secara otomatis. Oleh karena itu kualitas air sistem pendingin sekunder tergantung pada kualitas air *make up* dan disamping itu juga tergantung pada sistem pengendali kualitas yang lain seperti dengan dioperasikannya sistem injeksi bahan kimia pengendali pertumbuhan mikroorganisme (PAQ01) yang berbahan dasar NaOCL 12% akan menyebabkan air pendingin bersifat basa. Dan dengan beroperasinya sistem injeksi bahan kimia inhibitor korosi (PAQ01) menyebabkan pH turun. Demikian juga dilakukannya pengurusan pada kolam air sistem pendingin sekunder maka konduktivitas air pendingin menjadi kecil karena telah diganti dengan air yang baru dari penyedia sumber air baku dan *blowdown* menjadi semakin jarang terjadi. Oleh sebab itu perubahan pH pada air pendingin sekunder tidak semata-mata disebabkan oleh beroperasinya sistem injeksi bahan kimia pengendali pH (PAQ03) dipengaruhi juga oleh air pasokan dan pengendalian kualitas air yang lain.

Dari Lampiran 1 dan Grafik 2 terlihat bahwa pH air pendingin sekunder cenderung mengalami kenaikan walaupun sistem injeksi bahan kimia pengendali pH beroperasi. Dengan beroperasinya sistem pendingin sekunder terbentuk bikarbonat yang menyebabkan kenaikan pH pada air pendingin sekunder⁽⁶⁾. Oleh karena itu pada sistem pendingin sekunder dilengkapi dengan sistem injeksi bahan kimia pengendali pH (PAQ03) dengan menggunakan larutan Kenaikan pH akibat terbentuknya bikarbonat dalam air pendingin sekunder akan direduksi dengan penambahan larutan asam sulfat (H_2SO_4). Oleh karena itu apabila kadar bikarbonat yang terbentuk masih melebihi kadar larutan asam sulfat (H_2SO_4) maka pH pada air pendingin sekunder masih tinggi (bersifat basa). Dari Tabel 2 dan Grafik 2 terlihat bahwa pada kondisi air yang baru setelah dilakukan pengurusan dan dengan mengatur laju alir masing-masing pompa injeksi pada sistem injeksi kimia pengendali pH (PAQ03) dengan posisi skala frekuensi pada 40% dan gerakan tuas 20%) yang setara dengan 0,6 liter/jam, telah mampu mempertahankan harga pH pada batasan yang diizinkan.

KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengoperasian sistem injeksi bahan kimia pengendali pH (PAQ03) secara manual kontinyu tidak sepenuhnya dapat menurunkan pH air pendingin sekunder, tergantung pada kualitas air pasokan dan perlakuan pengendalian kualitas air lainnya. tetapi dapat mempertahankan pH air pendingin sekunder pada batasan yang diizinkan yaitu dibawah 8

DAFTAR PUSTAKA

1. INTERATOM, *Chemical Cooling Water Treatment PAQ , Dosing system for sulfuric acid , Interatom –Ident-No.12.7395.*
2. [http://id.wikipedia.org/wiki/Asam Sulfat](http://id.wikipedia.org/wiki/Asam_Sulfat), diakses tanggal Agustus 2013
3. <http://id.wikipedia.org/wiki/pH>, diakses tanggal Agustus 2013
4. <http://etnarufiati.guru>.
5. BATAN, Sistem Pendingin Sekunder, Laporan Analisis Keselamatan, No. Ident. : RSG.KK.01.01.63.11, Rev. 10.1, tahun 2011
6. Andri,Inno, Identifikasi Masalah kenaikan pH pada Sistem Pendingin Sekunder Reaktor G.A Siwabessy. Laporan Kerja Praktek, FTI,ITI, Serpong, 2008