

**UPAYA INHIBISI PEMBENTUKAN KERAK SILIKA (SILICA SCALING) MENGGUNAKAN ASAM POLIAKRILAT (PAA) DAN ASAM BORAT (BA) DALAM PIPA BRINE PANASBUMI**

**Tesis diajukan sebagai salahsatu syarat memperoleh gelar magister dalam ilmu material**

*Oleh:*

**MUHAMAD ANDHIKA  
NPM : 0606000970**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL FISIKA  
UNIVERSITAS INDONESIA  
2008**

**LEMBAR PERSETUJUAN  
TESIS INI TELAH DISETUJUI OLEH**

**Prof. Dr. Johny Wahyuadi**  
Pembimbing I

**Dr. Zainal Abidin**  
Pembimbing II

**Dr. Bambang Sugiono**  
Ketua Sidang

**Dr. Azwar Manaf**  
Penguji 1

**Dr. Rudi Subagja**  
Penguji 2

**Dr. Bambang Sugiono**  
Ketua Program Magister Ilmu Material  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia  
Tanggal 21 Juni Tahun 2008

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, atas segala berkat dan pertolongannya sehingga penulis mampu menyelesaikan pembuatan tesis.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih dan penghargaan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Johnny Wahyuadi selaku Pembimbing tesis
2. Bapak Dr. Zainal Abidin, Dipl. Geoth. selaku kepala PATIR BATAN Pasar Jum'at Jakarta dan pembimbing tesis
3. Bapak Soewondo Koesoemo, selaku General Manger PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng
4. Bapak Yunis, selaku Manager Engineering PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng
5. Orang tua, mertua, dan adik tercinta yang telah mendukung penuh selama S2
6. Istriku tercinta Adiasari dan anakku Syarifah Nur Amelia

Akhirnya, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak yang memerlukannya.

Sepong, Juni 2008

Muhamad Andhika, S.Si

## ABSTRAK

kerak silika merupakan masalah utama yang dominan terjadi pada lapangan panasbumi yang didominasi oleh *brine (liquid dominated)*. Kerak silika tidak dapat dihilangkan baik dengan cara kimia, fisika maupun mekanik sehingga biasanya yang dilakukan adalah upaya menghambat. Untuk itulah maka dilakukan pengujian inhibitor *antiscale* menggunakan campuran polimer asam poliakrilat (PAA) dan asam borat (BA).

Pengujian dilakukan menggunakan pipa uji dan pipa blank. Pipa uji mempunyai dua tempat pengambilan sampel (*port*) yaitu *port* untuk injeksi di hulu dan *port sampling* di hilir. Sedangkan untuk pipa blank hanya terdapat pipa *port sampling* di hilir. Pengambilan sampel dilakukan 1 hari setelah injeksi untuk memastikan terjadi homogenisasi antara inhibitor dan brine di pipa uji. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari dan dianalisa di lab PT Geodipa Energi Unit Dieng. Campuran inhibitor di variasikan perbandingan konsentrasi 10 ppm:8 ppm, 15 ppm:5 ppm, dan 20 ppm:3 ppm hingga didapat kondisi optimum yang mampu menghambat pencegahan pembentukan kerak silika. Setiap variasi perbandingan konsentrasi dilakukan selama 7 hari dengan pengambilan sampel sebanyak 5 kali selama 5 hari.

Setelah dilakukan pengujian maka untuk campuran asam poliakrilat dan asam borat dengan perbandingan 10 ppm dan 8 ppm memiliki efektifitas sebesar 67,22%. Sedangkan untuk perbandingan 15 ppm dan 5 ppm memiliki efektifitas 44,54%. Untuk perbandingan konsentrasi 20 ppm dan 3 ppm memiliki efektifitas 54,94%.

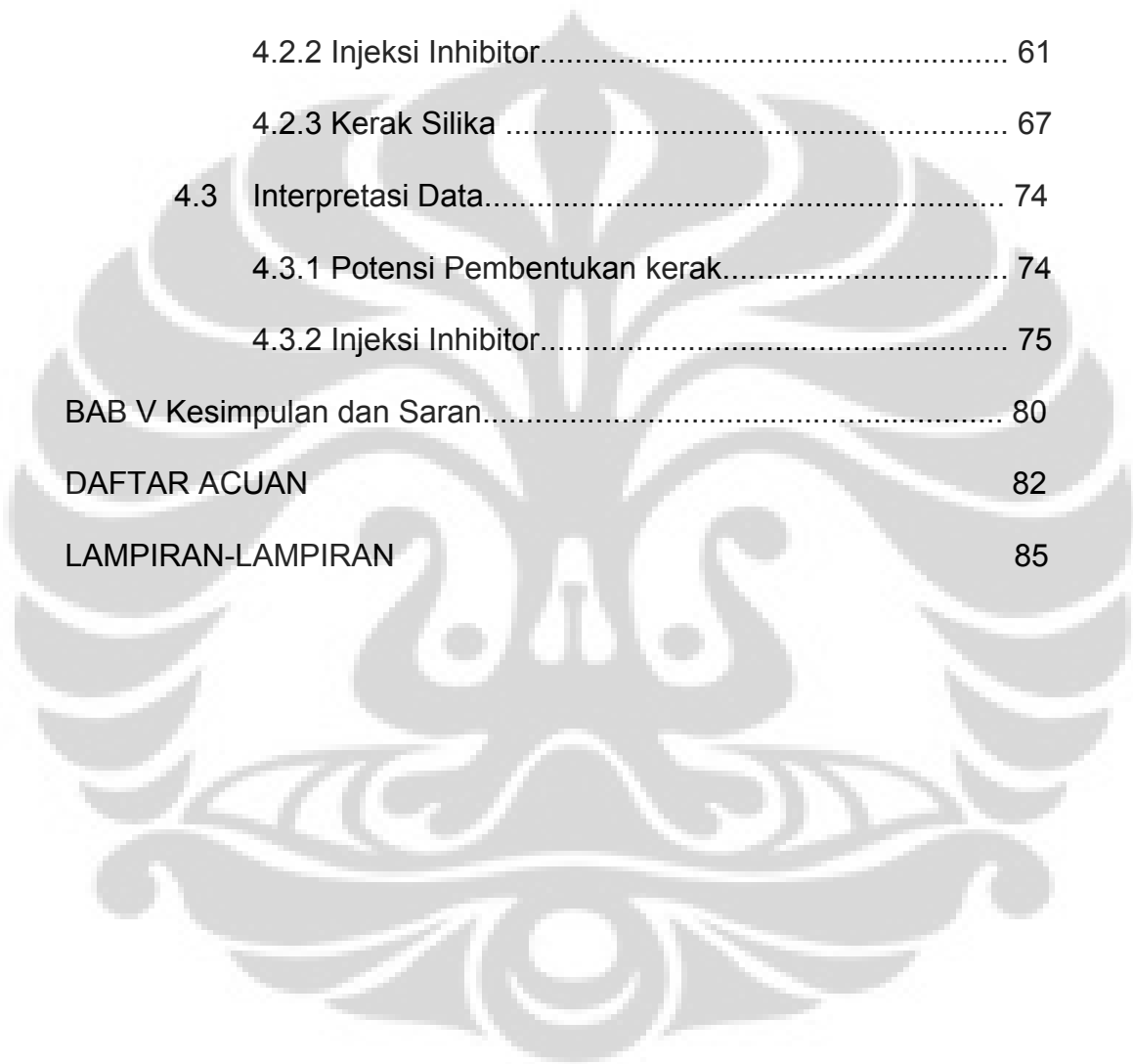


## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Persetujuan.....	ii
Kata Pengantar.....	iii
Abstrak.....	iv
Daftar Isi .....	v
Daftar Gambar .....	viii
Daftar Tabel .....	xi
BAB I Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Hipotesa .....	9
1.4 Tujuan Penelitian.....	10
BAB II Tinjauan Pustaka.....	11
2.1. Sistem Panasbumi.....	11
2.1.1 Sumber Panasbumi .....	11
2.1.2 Eksploitasi Energi Geothermal.....	12
2.1.3 Hydrothermal Brine.....	18
2.1.4 Sifat Fisika Brine.....	22
2.1.5 Efek Flashing Pada Brine .....	24

2.2	Silika.....	25
2.2.1	Struktur Silika.....	25
2.2.2	Keseimbangan Asam Silikat.....	27
2.2.3	Bentuk Silika.....	29
2.2.4	Kelarutan Silika.....	29
2.2.5	Polimerisasi Silika.....	32
2.3	Kerak Silika.....	33
2.3.1	inhibitor kerak.....	34
2.3.2	Mekanisme inhibisi Kerak.....	35
2.4	Instrumentasi.....	36
2.4.1	Spektrofotometer UV-Visible.....	36
2.4.2	XRF.....	38
2.4.3	XRD.....	39
2.4.4	SEM.....	41
BAB III Metode Penelitian.....		44
3.1	Skema Kerja Penelitian.....	44
3.1.1	Pengumpulan Data Awal.....	46
3.1.2	Uji Inhibitor.....	49
3.1.3	Pengumpulan Data, Analisa, dan Interpretasi Data.....	51
3.1.4	Penentuan Konsentrasi Campuran Inhibitor.....	53
3.2	Prosedur Penelitian.....	54
3.2.1	Peralatan.....	54
3.2.1	Bahan Kimia.....	54
3.2.3	Analisa Silika.....	54

3.2.4 Analisa klorida.....	55
BAB IV Hasil dan Pembahasan.....	56
4.1 Injeksi Inhibitor Kerak Silika.....	56
4.2 Hasil Analisa.....	58
4.2.1 Fluida panas bumi Dieng.....	58
4.2.2 Injeksi Inhibitor.....	61
4.2.3 Kerak Silika .....	67
4.3 Interpretasi Data.....	74
4.3.1 Potensi Pembentukan kerak.....	74
4.3.2 Injeksi Inhibitor.....	75
BAB V Kesimpulan dan Saran.....	80
DAFTAR ACUAN.....	82
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	85



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kurva kenaikan harga minyak dunia.....	1
Gambar 1.2	Proses Eksploitasi energi geothermal.....	3
Gambar 1.3	Diagram alir terbentuknya kerak dari air brine.....	4
Gambar 1.4	Sumur produksi panasbumi PLTP Dieng.....	7
Gambar 2.1	Proses Transfer konduksi dan konveksi fluida dalam Sistem panasbumi.....	12
Gambar 2.2	Sistem Pengelolaan Lapangan uap.....	16
Gambar 2.3	Kurva densitas larutan garam pada beberapa suhu untuk elemen utama brine panasbumi.....	23
Gambar 2.4	Silika.....	25
Gambar 2.5	Bentuk Ruang Polisilikat.....	25
Gambar 2.6	Struktur Tetrahedron Silika.....	26
Gambar 2.7	Laju Polimerisasi Pada berbagai pH.....	29
Gambar 2.8	Grafik Kelarutan Silika sebagai fungsi dari temperatur.....	30
Gambar 2.9	Grafik Kelarutan Silika sebagai fungsi dari pH.....	31
Gambar 2.10	Mekanisme polimerisasi Silika.....	33
Gambar 2.11	Bagan Prinsip Kerja Alat Spektrofotometer UV/VIS.....	37
Gambar 2.12	Prinsip Kerja Alat XRF.....	39
Gambar 2.13	Mekanisme difraksi sinar X oleh Kristal.....	40
Gambar 2.14	<i>X-ray Diffraction</i> dengan sampel bubuk atau polikristal.....	41
Gambar 3.1.	Lokasi uji inhibisi kerak silika di lapangan panasbumi Dieng..	44

Gambar 3.2 Diagram alir Penelitian.....	45
Gambar 3.3 Skema PLTP <i>Single Flash</i> .....	51
Gambar 4.1 Gambar kurva SSI Sumur Produksi.....	60
Gambar 4.2. Kurva hasil injeksi chemical antiscala silika asam poliakrilat (PAA) dan asam borat (BA).....	61
Gambar 4.3 Kurva blanko uji anti scale silika.....	62
Gambar 4.4 Kurva hasil injeksi Inhibitor kerak silika Asam poliakrilat (PAA) dan asam borat (BA)10 ppm : 8 ppm.....	64
Gambar 4.5 Kurva hasil injeksi chemical antiscala silika asam poliakrilat (PAA) dan asam borat (BA) 15 ppm:5ppm.....	65
Gambar 4.6 Kurva hasil injeksi chemical antiscala (PAA) dan (BA) 20 ppm:3ppm.....	66
Gambar 4.7 Hasil Pengukuran Powder Kerak Silika Menggunakan XRD.....	68
Gambar 4.8 Hasil analisa kualitatif data XRD menggunakan software Match!.....	69
Gambar 4.9 A Sampel Kerak Silika Perbesaran 200x dengan jarak 100 $\mu\text{m}$ wd=10.3 mm EHT=15 kV spot 2.0.....	70
Gambar 4.9.B Sampel Kerak Silika Perbesaran 500x dengan jarak 50 $\mu\text{m}$ wd=10.4 mm EHT=15 kV spot 2.0....	70
Gambar 4.9.C Sampel Kerak Silika Perbesaran 1000x dengan jarak 20 $\mu\text{m}$ wd=10.4 mm EHT=15 kV spot 2.0....	71
Gambar 4.9.D Sampel Kerak Silika Perbesaran 500x dengan jarak 50 $\mu\text{m}$ wd=10.5 mm EHT=20 kV spot 1.8....	72
Gambar 4.D.E Sampel Kerak Silika Perbesaran 1000x	

dengan jarak 20  $\mu\text{m}$  wd=10.5 mm EHT=20 kV spot 1.8.... 72

Gambar 4.9.F Sampel Kerak Silika Perbesaran 1000x

dengan jarak 20  $\mu\text{m}$  wd=10.5 mm EHT=20 kV spot 1.8..... 73

Gambar 4.10 Kurva hasil injeksi Inhibitor Kerak Silika

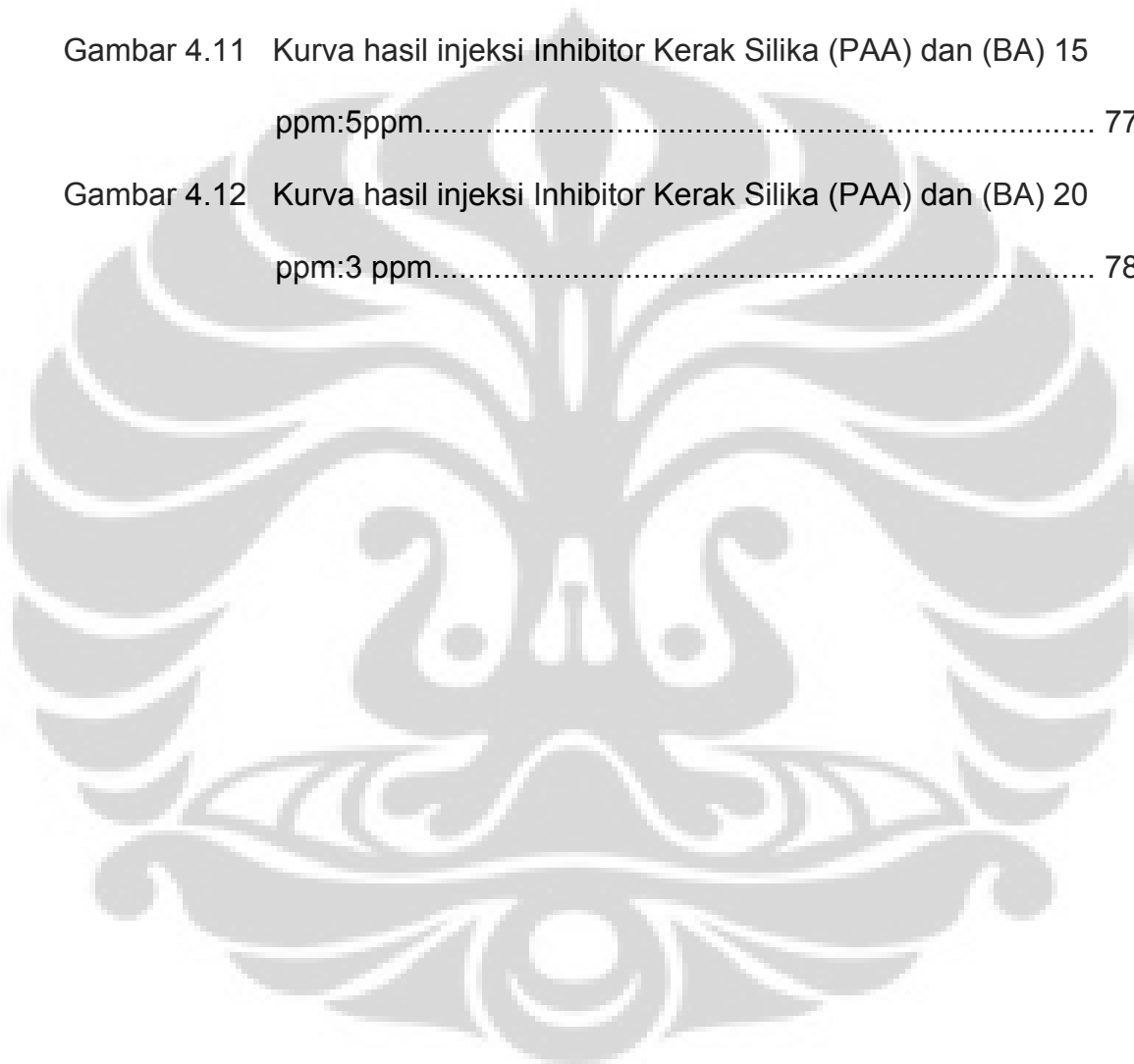
(PAA) dan (BA) 10 ppm:8 ppm..... 76

Gambar 4.11 Kurva hasil injeksi Inhibitor Kerak Silika (PAA) dan (BA) 15

ppm:5ppm..... 77

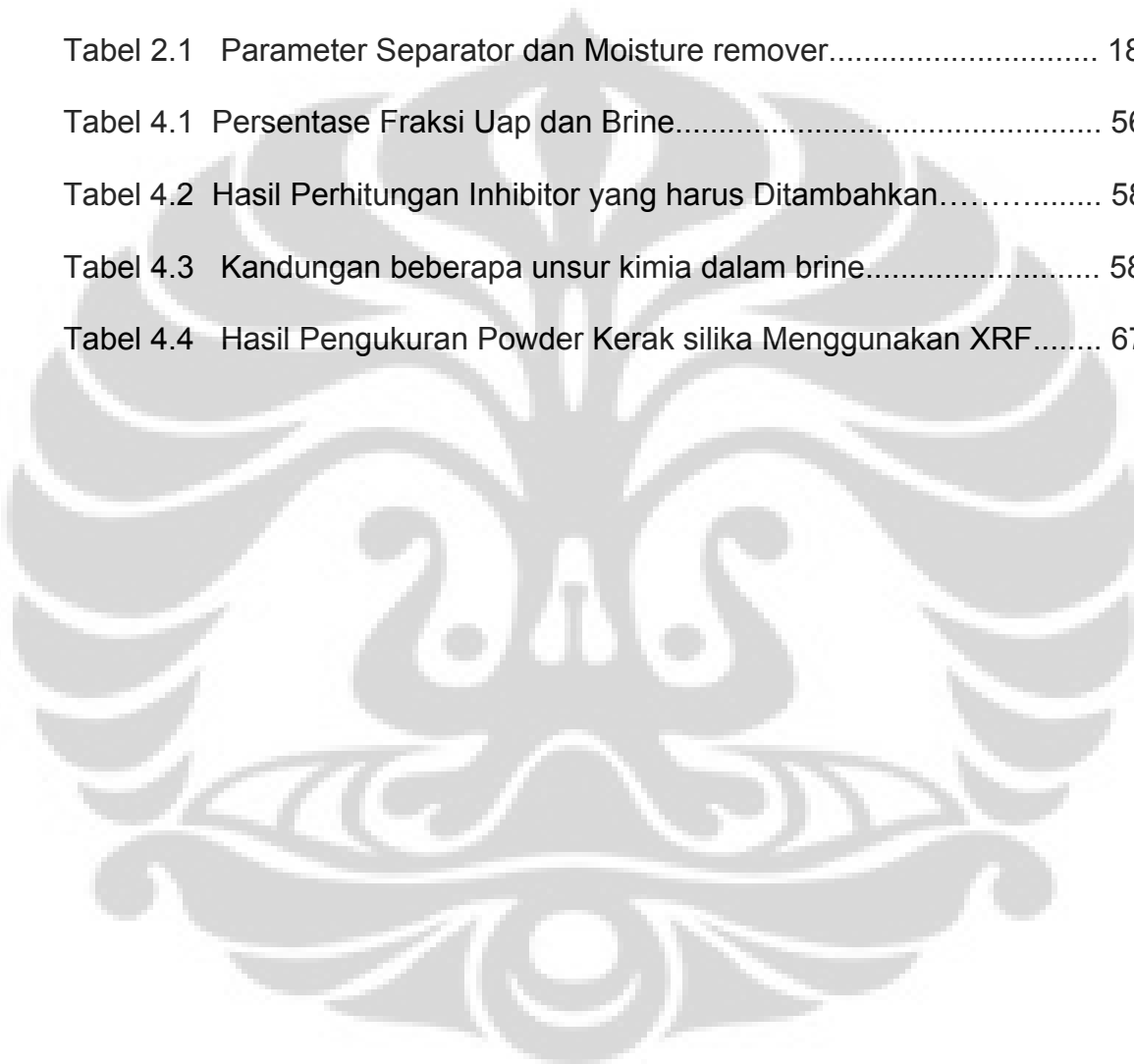
Gambar 4.12 Kurva hasil injeksi Inhibitor Kerak Silika (PAA) dan (BA) 20

ppm:3 ppm..... 78



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter Separator dan Moisture remover.....	18
Tabel 4.1	Persentase Fraksi Uap dan Brine.....	56
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Inhibitor yang harus Ditambahkan.....	58
Tabel 4.3	Kandungan beberapa unsur kimia dalam brine.....	58
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Powder Kerak silika Menggunakan XRF.....	67

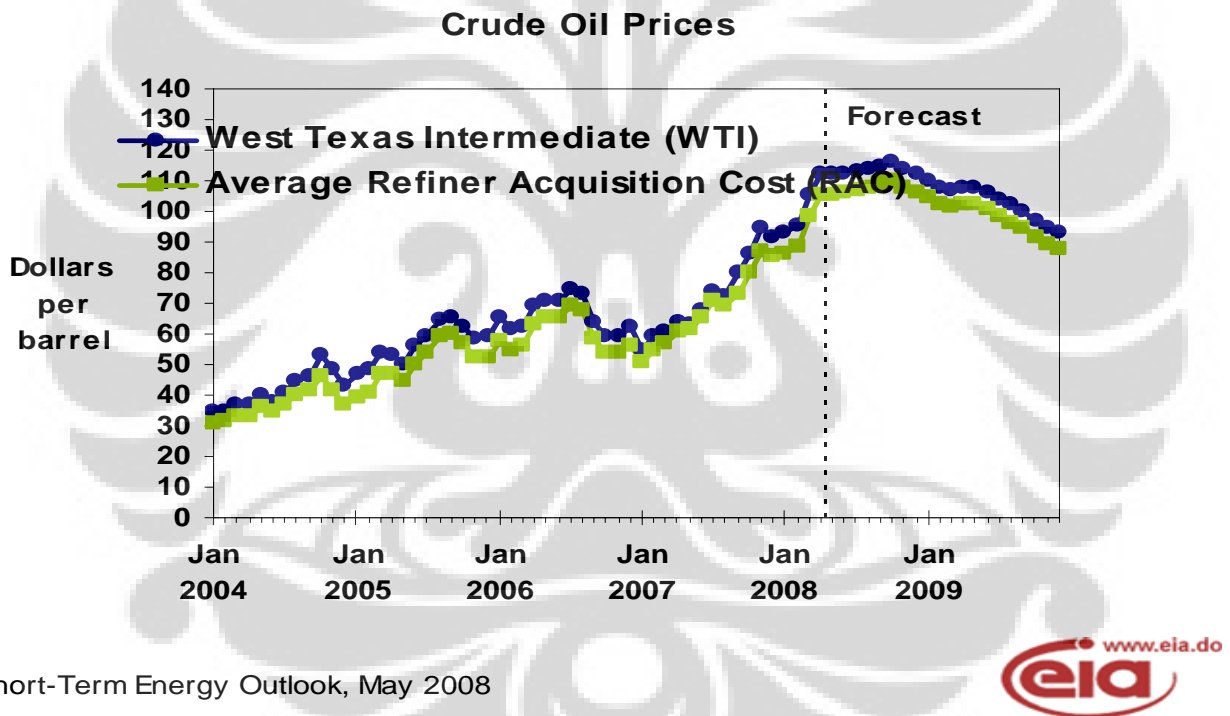


## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 LATAR BELAKANG

Harga minyak bumi di pertengahan bulan mei 2008 sudah mencapai 130 dolar amerika per barel dan diramalkan masih akan terus naik seperti terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kurva kenaikan harga minyak dunia<sup>[1]</sup>

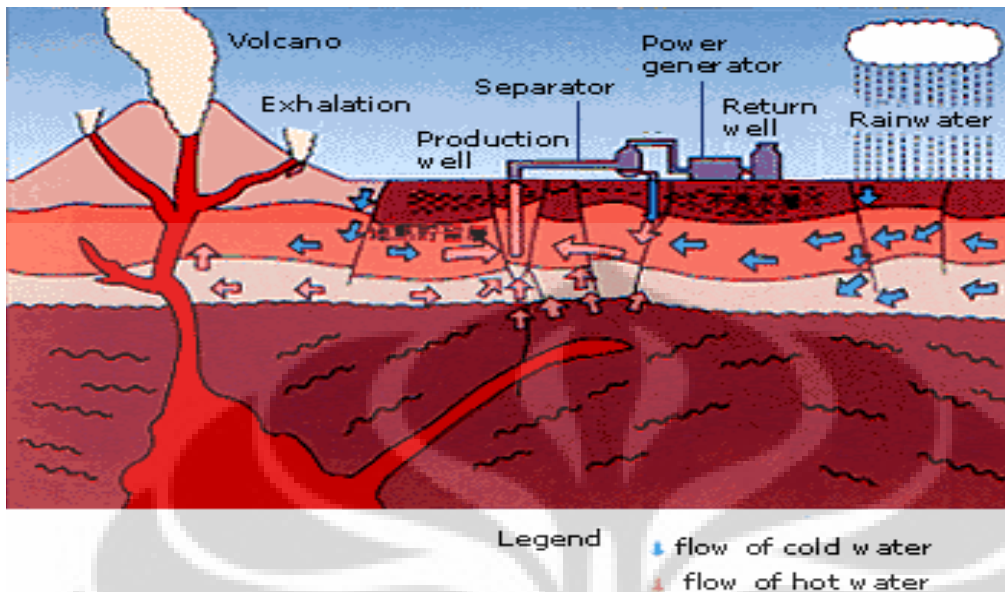
Sementara itu Indonesia sekarang sudah menjadi importir minyak bumi. Hal ini menambah berat beban pemerintah dalam memberikan subsidi. Dengan harga BBM 60 dolar amerika per barel di tahun 2006 harga pokok



produksi listrik sudah mencapai Rp 900 per kwh sedangkan harga jual ke masyarakat hanya Rp 480 per kwh.

Sangat berbeda dengan energi listrik yang dihasilkan oleh panasbumi dimana Indonesia merupakan negara dengan potensi terbesar didunia (27000 MW) harga jualnya hanya sekitar 7-8 sen dolar amerika per kwh<sup>[2]</sup>. Panasbumi merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Sudah sejak lama di Negara-negara maju yang mempunyai sumber panasbumi seperti Jepang dan selandia baru memanfaatkannya sebagai pembangkit listrik. Kalau dilihat dari produksi minyak mentah (crude oil) Indonesia maka dalam satu hari potensial panasbumi ini lebih besar dari produksi Indonesia saat ini yang hanya sekitar 6-7 ratus ribu barel/hari (proyeksi dalam blueprint PEN 2005 hanya 500 ribu bph). Perhitungan potensi panasbumi diatas tentu saja dibatasi oleh teknologi terkini yg tercermin pada efisiensi pembangkitan (0.28 liter/Kwh) dan dalam masa 30 tahun, namun secara teoritis energi panasbumi tidak akan habis dalam ribuan tahun.

Dari perbandingan beberapa tipe pembangkit ternyata *Capacity Factor* untuk pembangkit listrik yang paling tinggi adalah dari panasbumi (Kamojang 93%, Wayang windu 94%, Darajat 93%) bila dibandingkan dengan pembangkit yg menggunakan BBM/BBG (Muara karang, 65%), Batubara (Suralaya 67%), PLTA (Saguling 36%, Barantas 39%). Bahkan ada beberapa pembangkit dengan BBM memiliki kapasitas dibawah 20 %, salah satu penyebabnya karena kesulitan pasokan bahan bakar<sup>[3]</sup>.



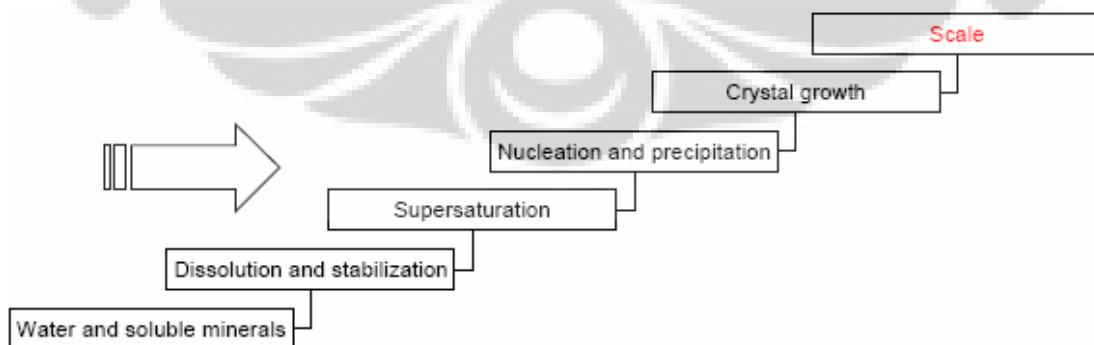
Gambar 1.2 Proses Eksploitasi energi geothermal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)<sup>[4]</sup>

panasbumi memiliki kapasitas sangat besar karena jalur suplainya langsung dari dalam tanah (dari sumur langsung ke turbin). Hal ini terbukti dari PLTP pertama di Kamojang yg sudah berumur 27 tahun tetap saja masih tinggi daya kemampuannya sepanjang beroperasi dan tidak ada gangguan di suplai energi primernya

Upaya mengembangkan sumber panas Bumi Dieng sudah dilakukan selama 35 tahun. Tapi, sampai tahun 1994 baru menghasilkan energi listrik 2 MW (Mega Watt). Padahal, di Dataran Tinggi Dieng terdapat 27 sumber panas Bumi dan 12 sumur yang potensial dan prospektif dikembangkan dan dapat menghasilkan energi listrik 1.400 MW<sup>[5]</sup>.

Seiring dengan besarnya potensi panasbumi di Dieng, juga terdapat hambatan kimia yang disebabkan oleh kandungan senyawa kimia yang ada

didalam *brine* maupun perubahan fisika, seperti suhu dan tekanan, ketika fluida panasbumi di eksploitasi. Perubahan fisika tersebut membuat kesetimbangan beberapa senyawa kimia terganggu yang mengakibatkan terganggunya sifat kelarutannya. Suhu yang turun secara drastis akan mengakibatkan berkurangnya kelarutan silika dan karbonat. Sedangkan tekanan yang berubah antara didalam reservoir dan dipermukaan akan mengakibatkan menurunnya kadar air dalam fluida panas bumi sehingga akan membuat beberapa senyawa seperti silika dan karbonat mengalami keadaan lewat jenuh yang akan berlanjut dengan terjadinya pengendapan. Pada senyawa silika pengendapan akan berlanjut dengan polimerisasi membentuk polimer silika yang kemudian mengerak dan sangat sulit untuk diatasi secara mekanik maupun kimiawi. Kerak Silika selalu menjadi masalah dalam pengembangan energi panasbumi karena *brine*, yang didapatkan setelah pemisahan dengan *steam*nya, biasanya dalam keadaan lewat jenuh oleh silika. Kerak dapat terbentuk pada pipa dua fase, separator, pipa *brine* dan peralatan proses.



Gambar 1.3 Diagram alir terbentuknya kerak dari air *brine*<sup>[6]</sup>

Pembentukan kerak dapat mengakibatkan penurunan kapasitas pipa sehingga mengurangi kapasitas produksi dan meningkatkan biaya operasional. Pengkerakan juga dapat menimbulkan kerusakan dini yang diakibatkan oleh penyumbatan yang dapat membahayakan proses produksi. Walaupun demikian, *brinenya* dapat digunakan kembali sebagai air injeksi<sup>[7]</sup>.

Permasalahan kerak terdiri dari fase amorf dan kristalin, sulfida dan “garam sederhana” (kalsit, anhidrat) yang akan mengendap dengan segera dalam keadaan lewat jenuh. Kelarutan dari fasa tersebut bergantung pada temperatur dan diantaranya bergantung juga terhadap pH. Karena itulah mineral tersebut mengendap karena pendidihan dan atau perubahan temperatur. Jumlah kerak yang terbentuk bergantung pada kinetika pengendapan dan konsentrasinya didalam air. Jumlah Kerak Sulfat pembentuk logam, seperti besi dan beberapa logam dasar, terdapat dalam konsentrasi yang rendah pada fluida panasbumi sehingga kerak sulfat yang terbentuk juga sedikit. Mobilitas logam dalam air panasbumi bersalinitas tinggi lebih besar dibandingkan dengan larutannya. Sedangkan pengkerakan silika lebih dipengaruhi oleh kinetiknya ketimbang oleh kemampuan pengendapan komponennya.

Untuk mengetahui potensi pengkerakan silika maka dapat dilakukan dengan menghitung nilai SSI nya (silica saturation index) yang menggambarkan tingkat kejenuhan silika dalam air. SSI dapat dihitung dengan membandingkan konsentrasi amorf silika terukur yang berada dalam fluida panas bumi dengan kelarutan *quartz* silika dalam air pada kondisi yang

sama. Bila SSI nya diatas 1 maka potensi terjadinya kerak sangat besar tetapi apabila SSI nya dibawah 1 maka potensi terjadinya kerak sangat kecil. SSI sangat dipengaruhi oleh konsentrasi amorf silika, suhu dan salinitas<sup>[8]</sup>.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

PLTP dieng dipasok dari 8 sumur produksi yang merupakan sistem panasbumi yang didominasi oleh cairan (*liquid dominated*). Jumlah liquid yang lebih besar harus dipisahkan dari uapnya karena yang dapat dimanfaatkan hanya fraksi uapnya saja untuk memutar turbin.

Dari penelitian sebelumnya diketahuinya bahwa secara rata-rata SSI dari semua sumur produksi diatas 1 sehingga sangat potensial terjadinya pembentukan kerak<sup>[9]</sup>.

Ketika fluida panasbumi bersama uapnya keluar dari reservoirnya maka terjadi penurunan suhu akibat pengaruh suhu luar yang lebih dingin. Hal ini mengakibatkan nilai SSI nya berubah menjadi lebih besar karena kelarutan silika pada kondisi yang sama menurun dengan adanya penurunan suhu. Bila suhunya turun menjadi sekitar 180°C maka brine akan menjadi lebih jenuh dengan silika karena terjadinya *flashing*. Maka ketika keluar dari reservoir nilai SSI nya menjadi lebih besar dibandingkan ketika masih didalam reservoir.



Gambar 1.4 Sumur produksi panasbumi PLTP Dieng; foto penulis

Ketika fluida yang masih bercampur antara uap dan *liquid* dialirkan ke separator maka liquid dan uapnya akan terpisah. Karena adanya pemisahan tersebut maka kandungan silika yang terlarut mengalami pengkayaan (*enrichment*). Pengkayaan pada silika menyebabkan naiknya konsentrasi silika yang ada didalam larutan sehingga silika menjadi lebih jenuh yang ditandai dengan kenaikan nilai SSI nya.

Pembentukan kerak silika juga dipengaruhi oleh salinitas<sup>[10]</sup>. Semakin besar konsentrasi ion  $Cl^-$  maka akan semakin banyak konsentrasi silika yang

terpolimerisasi karena proses *salting out* sehingga potensi lewat jenuh silika berubah menjadi lebih jenuh dan menaikkan nilai SSI nya secara drastis.

Sebenarnya masih ada satu faktor lagi, selain temperatur dan salinitas, yang sangat mempengaruhi nilai SSI yaitu pH<sup>[11,12,13]</sup>. Namun sistem fluida pada daerah panasbumi dieng adalah sistem air-bikarbonat dimana pelepasan CO<sub>2</sub> akibat pemisahan steam dan fluida panas bumi tidak serta merta mengakibatkan perubahan pH karena adanya ion bikarbonat yang akan membuffer pH fluidanya. Hal ini terlihat dari tidak adanya perubahan pH yang signifikan antara pH reservoir dan pH *brine*<sup>[14]</sup>.

Kondisi ini, bila dilihat dari nilai SSI nya, maka silika dalam reservoir tidak dalam keadaan jenuh dan oleh karena itu tidak terjadi pengendapan. Silika mulai melewati titik jenuh karena keluar dari reservoir sehingga suhunya turun yang mengakibatkan SSI naik sehingga mulai terjadi pengkerakan di kepala sumur. Hal ini dapat dilihat pada peralatan sampling ketika dilakukan sampling pada kepala sumur (*well head*) dimana separator mini yang ada pada peralatan sampling menjadi putih yang disebabkan mulai berkeraknya silika. Pengkerakan juga pasti akan terjadi di pipa brine karena adanya pengkayaan silika akibat pemisahan antara *brine* dan uapnya sehingga SSI meningkat. Potensi pengkerakan menjadi lebih hebat karena pengaruh salinitas sehingga nilai SSI akan berubah secara signifikan.

Kondisi ini perlu diselesaikan dengan segera karena akan mempengaruhi biaya produksi dan efektifitas produksi. Pengurangan pengkerakan dapat dilakukan dengan penambahan inhibitor kimia campuran

antara asam poliakrilat (PAA) dengan asam borat (BA)<sup>[9, 15, 16, 17]</sup>. Campuran inhibitor ini dipercaya mampu mengurangi laju pengkerakan karena sudah terbukti pada uji laboratorium di Batan<sup>[15]</sup>. Penambahan inhibitor akan meningkatkan kelarutan silika sehingga seolah-olah penambahan inhibitor akan menambah nilai SSI. Tetapi sebenarnya bila dibandingkan dengan *brine* yang tidak ditambahkan inhibitor maka kelarutan yang lebih sedikit menandakan lebih banyak terbentuk silika dibanding dengan *brine* yang ditambahkan inhibitor. Hal ini terjadi karena SSI hanya dipengaruhi oleh suhu dan dikoreksi oleh salinitas saja. Indikator utama adalah kelarutan silika dalam *brine* yang ditambahkan inhibitor dan yang tidak ditambahkan inhibitor. Semakin besar kelarutan silika dalam *brine* menandakan inhibitor bekerja secara efektif menghambat laju pengkerakan silika<sup>[9,10,11,15,16,17]</sup>.

### 1.3 HIPOTESA

Hipotesa dibuat berdasarkan:

1. Semua sumur produksi berpotensi mengalami pengkerakan oleh silika karena tingginya konsentrasi silika dan kadar salinitas
2. Laju pembentukan kerak silika dapat dihambat dengan menggunakan inhibitor campuran asam poliakrilat dan asam borat dengan perbandingan konsentrasi tertentu

Untuk mengetahui keefektifan sifat inhibisi dari campuran asam poliakrilat dan asam borat maka dilakukan analisa fluida yang ditambahkan inhibitor dan fluida yang tidak ditambahkan inhibitor (kontrol)



dengan menggunakan spektrofotometer UV/Vis. Diharapkan dengan studi insitu penambahan campuran asam poliakrilat dan asam borat untuk menghambat pembentukan kerak dapat memberikan hasil yang konsisten dengan hasil sebelumnya yang telah dilakukan pada skala lab<sup>[9, 10, 16, 17]</sup>.

#### 1.4 TUJUAN PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran SSI pada semua sumur produksi dan penambahan campuran inhibitor kimia antara asam poliakrilat dan asam borat dengan tujuan:

1. Mengetahui potensi pembentukan kerak di semua sumur produksi dan pipa *brine*
2. Mengetahui perbandingan konsentrasi minimum antara asam poliakrilat dan asam borat yang mampu menaikkan kelarutan silika sehingga mampu menghambat laju pengkerakan silika

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Panasbumi

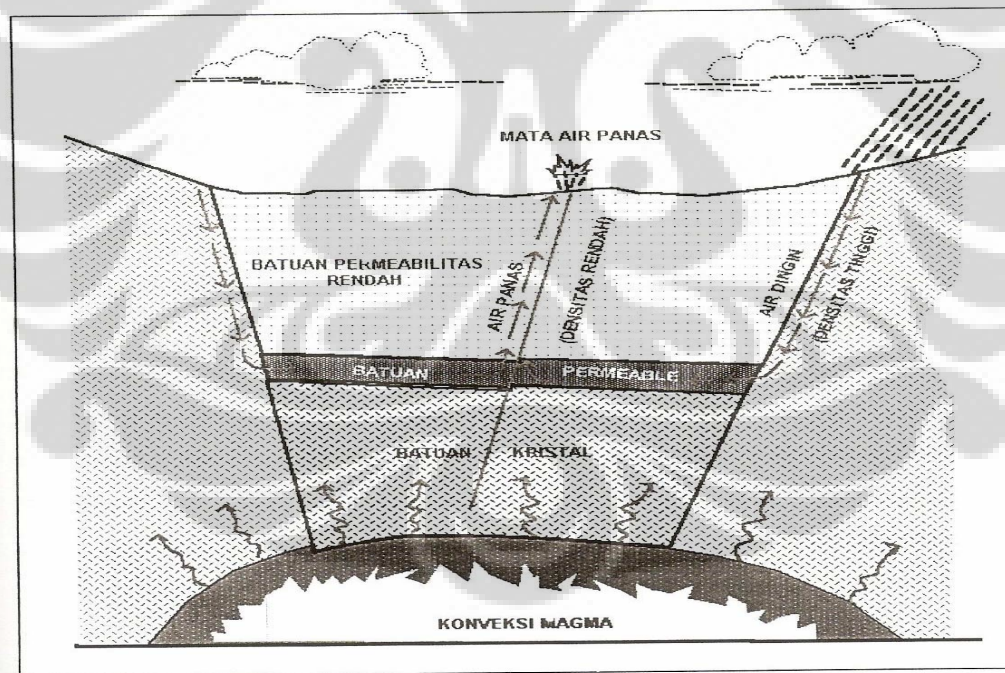
##### 2.1.1 Sumber Panasbumi

Subduksi lempengan samudera kedalam lempengan kontinen menimbulkan gesekan batuan dan menghasilkan lelehan magma dari material litosfer. Gaya mengambang dari magma didalam kulit bumi membawa lelehan magma tersebut naik ke permukaan dan membentuk gunung api pada beberapa tempat di daratan. Pengaruh lelehan magma, disamping membentuk gunung api, menghasilkan sistem panasbumi. Sumber panasbumi yang telah diidentifikasi ternyata berasal dari unsur radioaktif, terutama bahan granitik. Lapisan granitik sedalam 10 km akan memproduksi panas radioaktif yang mampu menghasilkan fluks panas di permukaan bumi sebesar  $0,6 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}$ . Dalam sistem gunung api lelehan magma mengalir hingga ke permukaan bumi dan dalam kondisi aktif sedangkan dalam sistem panasbumi, magma yang berbentuk intrusi magma berada pada kedalaman 7-15 km dibawah permukaan tanah dan dalam keadaan tidak aktif tapi masih mempunyai panas yang dapat mensuplai ke sistem reservoir secara konduksi-konveksi<sup>[18]</sup>. Untuk mendapatkan manfaat dari energi tersebut maka kita harus mengebor sumur di kedalaman tersebut di mana hal tersebut tidak

mungkin secara teknis dan ekonomis. Hal lain yang dapat ditempuh agar energi tersebut bisa dimanfaatkan adalah dengan memanfaatkan transport air di sekitar energi panas bumi tersebut (*hydrothermal transport of geothermal energy*)<sup>[19]</sup>.

### 2.1.2 Eksploitasi Energi Panas Bumi

Melalui gaya konveksi, fluida secara terus menerus mengambil (transfer) panas dari batuan dan masuk kedalam sistem reservoir hingga fluida keluar lagi melalui rekahan menjadi mata air panas atau diambil melalui sumur bor.



Gambar 2.1 Proses Transfer konduksi dan konveksi fluida dalam sistem panas bumi<sup>[18]</sup>

Agar daerah panasbumi dapat diproduksi menghasilkan uap, sistem tersebut harus mempunyai persyaratan penampakan geologi sebagai berikut<sup>[19]</sup> :

- a. Sumber panas (intrusi magma) dengan keluaran besar
- b. Memiliki suplai fluida yang memadai didalam reservoir
- c. Batuan reservoir yang bersifat permeabel
- d. Batuan penutup reservoir (*cap rock*)
- e. Memiliki mekanisme *recharge* yang memadai

Sumber panas yang potensial dan mempunyai keluaran besar adalah magma intrusi yang mempunyai temperatur antara 600-900° C dan terletak pada kedalaman 7-15 km. Daerah panasbumi yang dapat dieksploitasi secara komersial haruslah berasal dari aktivitas vulkanik yang telah terjadi pada era *miocene quaternary*. Apabila berasal dari aktivitas vulkanik era yang lebih muda dari *miocene quaternary* dikhawatirkan masih dipengaruhi oleh magma aktif. Air atau fluida dalam reservoir sistem panasbumi kebanyakan disuplai oleh batuan melalui proses konduktif-konvektif oleh batuan dasar yang mempunyai permeabilitas relatif besar. Air meteorik secara terus menerus mensuplai reservoir agar menjamin kelangsungan produksi. Sistem reservoir dengan sifat permeabilitas tinggi akan menghasilkan uap dari sumur yang dapat memproduksi paling sedikit 20 ton/jam. Ketiga persyaratan diatas harus dilengkapi dengan sistem batuan penutup (*cap rock*) yang mempunyai sifat permeabilitas kecil dan berfungsi untuk melindungi sistem reservoir.

Dengan persyaratan penampakan geologi tersebut dikatakan bahwa energi panasbumi merupakan sumber yang dapat terbarukan dan dapat diproduksi hingga 50 tahun atau lebih. Syarat terakhir yang tidak kalah pentingnya adalah mekanisme injeksi (*recharge*). Eksploitasi terus menerus terhadap lapangan panasbumi akan mengakibatkan terus berkurangnya fluida dalam reservoir sehingga akan mengakibatkan berkurangnya produksi uap. Hal ini dapat diatasi dengan membuat sumur injeksi yang akan digunakan untuk memasukkan kembali *brine* kedalam reservoir sehingga produksi uapnya dapat terjaga<sup>[19]</sup>.

Lapangan panasbumi PT Geodipa unit Dieng menggunakan sistem pemisahan tunggal (*single flash*) dan biasanya merupakan sistem yang umum digunakan dalam lapangan uap panas bumi. Sampai dengan juli 2004 sudah sebanyak 135 unit di 18 negara yang memakai sistem ini.

Sumur panasbumi yang terdapat di Dieng memproduksi campuran uap dan *liquid*, sehingga sistem pemisahan tunggal merupakan cara termudah untuk mengkonversi energi panasbumi menjadi energi listrik. Pertama, campuran uap dan *liquid* dipisahkan menjadi fasa uap dan fasa liquid dengan kehilangan tekanan yang minimum. Hal ini dilakukan didalam sebuah bejana *cyclonic cylindrical* bertekanan dimana kedua fase tersebut terpisah karena perbedaan densitas yang sangat besar. Tempat pemisahan ini dinamakan separator. Di Dieng separator diletakkan di sekitar kepala sumur. Hal ini mengakibatkan dibutuhkannya jalur uap individual dari setiap separator ke tempat pengumpul uap di pembangkit.

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) Dieng mempunyai daya maksimum 60 MW yang mempunyai 8 sumur produksi dan 4 sumur injeksi. Pengeboran ke-8 sumur produksi tersebut dilakukan di sekitar lapangan panas bumi bahkan di beberapa blok (*pad*) mempunyai beberapa sumur untuk mengantisipasi lebarnya zona resevoir. Selain itu juga diperlukan sistem pipa yang bisa mengumpulkan semua geofluid dan mengirimnya ke pembangkit dan tempat injeksi.

Yang harus diperhatikan adalah kehilangan tekanan terutama pada fasa uap. Tekanan uap merupakan fungsi dari diameter, panjang pipa, densitas, laju massa uap, dan diameter pipa. Peranan penting ditentukan oleh diameter pipa dimana kehilangan tekanan terjadi ketika diameter pipa semakin kecil. Untuk menghindari kehilangan tekanan secara signifikan maka diameter pipa harus diperbesar dan hal ini mengakibatkan membengkaknya biaya.

Kehilangan tekanan juga harus dihindari di fase *liquid* walaupun pengaruhnya tidak sebesar fase uap karena *liquid* tersebut akan diinjeksikan kembali. Permasalahan yang timbul akibat kehilangan tekanan pada fase *liquid* bisa diatasi dengan menggunakan pompa.

Kehilangan tekanan menjadi lebih kompleks ketika terjadi di dua fase (*liquid-steam*) dan sulit di hitung secara analitis. Untuk mengetahui kehilangan tekanan yang terjadi di dua fase biasanya dilakukan tes lapangan.

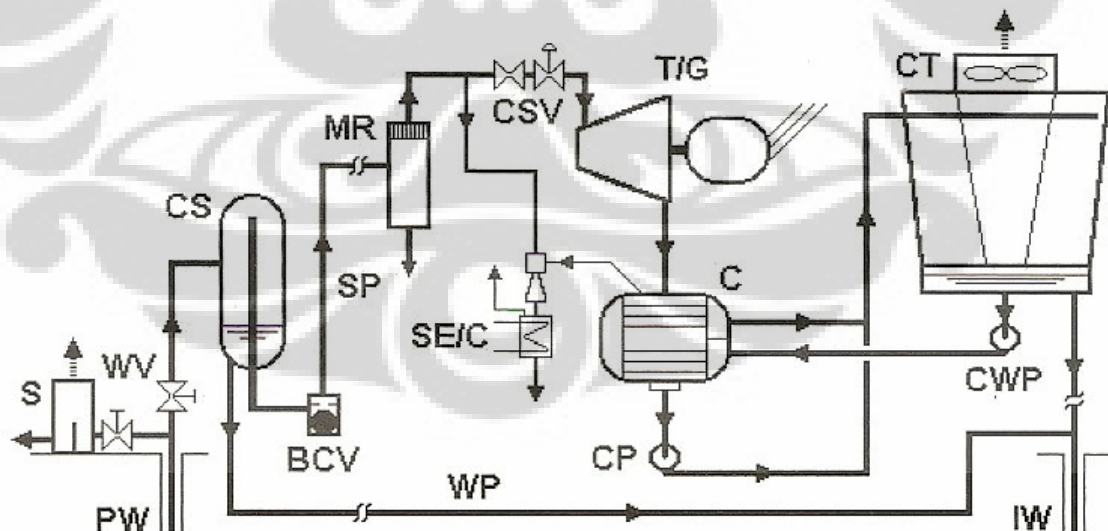
Terminologi dari sistem perubahan tunggal (*Single flash*) mengindikasikan bahwa *geofluid* telah mengalami proses perubahan tunggal,

contohnya proses perubahan dari *liquid* yang bertekanan menjadi campuran *liquid* dan uap, sebagai akibat dari turunnya tekanan dibawah tekanan jenuhnya yang diakibatkan karena turunnya temperatur.

Proses perubahan tersebut dapat terjadi di beberapa tempat, yaitu<sup>[19]</sup> :

- a. Pada reservoir, ketika fluida mengalir melalui formasi yang permeabel dibarengi dengan menurunnya tekanan
- b. Pada sumur produksi
- c. Pada separator

Sering terjadi pada beberapa kasus sumur yang baru dikembangkan perubahan terjadi di lubang sumur secara spontan, walaupun kemudian ketika eksploitasi sudah berjalan maka titik perubahan bergeser semakin ke bawah bahkan di batuan formasinya akibat turunnya tekanan<sup>[19]</sup>.



Gambar 2.2 Sistem Pengelolaan Lapangan Panasbumi *Single Flash*<sup>[19]</sup>

Pada sistem *single flash* tidaklah penting mengetahui dimana terjadinya perubahan. Kita mengasumsikan perubahan tersebut terjadi di reservoir dan ketika sampai di kepala sumur sudah menjadi 2 fase, yang kemudian dipisahkan di separator untuk kemudian uapnya dipakai untuk memutar turbin yang akan menghasilkan listrik. Diagram sederhana dari proses eksploitasi lapangan panasbumi menjadi listrik dapat dilihat pada Gambar 2.2

Pada setiap sumur produksi (PW), terdapat sekumpulan peralatan untuk mengontrol dan memonitor laju dari geofluid dari sumur ke pembangkit. Peralatan tersebut meliputi: beberapa *valve* untuk mengatur bukaan sumur, *silencer* yang merupakan separator sederhana yang berbentuk siklon untuk kepentingan pengeluaran fluida darurat contohnya ketika level fluida di separator berlebih atau jika terjadi *bleeding*, pipa dan instrumentasi untuk mengukur tekanan dan temperatur sedangkan *Cyclone separator* ditempatkan dekat dengan kepala sumur pada blok (*pad*) yang sama dengan kepala sumur.

Sangat penting untuk memisahkan uap dan *liquid* secara efisien terlebih dahulu karena hanya uap saja yang boleh masuk ke turbin. *Liquid* yang ikut masuk ke turbin dapat menyebabkan terjadinya pembentukan kerak (*scaling*) atau terjadinya korosi di pipa uap dan turbin. Untuk mendapatkan uap dengan kualitas tinggi maka disarankan mengikuti desain Lazalde-crabbtree dengan spesifikasi seperti Tabel 2.1.



Tabel 2.1 Parameter Separator dan *Moisture remover*<sup>[19]</sup>

Separator dan moisture remover		
Parameter	separator	moisture remover
kecepatan maksimum steam di pipa inlet 2 fase	45 m/s	60 m/s
Range kecepatan ideal steam di pipa inlet 3 fase	25-40 m/s	35 m/s - 50 m/s
Kecepatan maksimum steam didalam separator	4,5 m/s	6 m/s
Range Kecepatan ideal steam didalam separator	2,5 m/s - 4 m/s	1,2 m/s - 4 m/s

### 2.1.3 *Hydrothermal Brine*

Air yang telah dipanaskan oleh magma akan mengalir melalui struktur batuan yang kemudian akan melepaskan dan melarutkan mineral batuan membentuk larutan brine panas (*hot brine solution*). Pelarutan ini juga mengakibatkan beberapa mineral mengalami pengkayaan. Penelitian yang dilakukan menunjukkan konsentrasi mineral dalam *brine* yang telah mengalami kesetimbangan dengan batuan akan sama jumlahnya dengan konsentrasi mineral dalam batuan.

#### 2.1.3.1 Komposisi kimia brine

Gas-gas yang tidak larut (*insoluble gases*) dilepaskan bersamaan dengan fraksi kecil dari uap air (*steam*) yang terlepas ketika sebagian fluida berubah menjadi uap. Komposisi kimia dari *brine* panasbumi lebih mudah disusun dan dipelajari berdasarkan kriteria sebelum terjadi *flashing* dan sesudah *flashing*. Karakteristik jumlah padatan terlarut (*total dissolves solid, TDS*) bervariasi dari sekitar 1500 ppm (*fresh water*) hingga diatas 5000 ppm (*brine*) hingga yang memiliki konsentrasi tinggi hingga 40% berat<sup>[20]</sup>.

Kandungan utama *brine* adalah larutan NaCl sebesar 80%. Juga terdapat kalium, kalsium, silika, dan bikarbonat yang merupakan unsur utama<sup>[14]</sup>.

#### 2.1.3.1.1 Klorida

Konsentrasi ion klorida bervariasi berdasarkan daerah panasbumi-nya bahkan antar sumur dalam satu area.

#### 2.1.3.1.2 pH

pH dari fluida ditentukan oleh kesetimbangan asam basa seperti asam karbonat-bikarbonat, asam borat-borat, HF-florida, amonia-amonium, bisulfat-sulfat, asam silikat-silikat, hidrogen sulfat-bisulfat, dan reaksi yang melibatkan alumino-silikat. Dari hasil pengukuran pH maka diketahui bahwa sistem panasbumi dieng adalah tipe karbonat-bikarbonat yang mempunyai pH antara 6 sampai 6,5 karena adanya buffer dari reaksi karbonat. Berdasarkan observasi terhadap beberapa sistem panasbumi di dunia ternyata semakin tinggi salinitasnya maka pH-nya semakin rendah<sup>[14]</sup>.

#### 2.1.3.1.3 Karbonat dan Borat

Boron terdapat dalam sistem panasbumi sebagai borat. Rasio perbandingannya dengan klorida selalu tetap sehingga dapat digunakan sebagai metode penentuan asal usul air tanah. Sedangkan konsentrasi karbonat dapat berubah-ubah karena bergantung pada reaksi kesetimbangan dengan kalsium pada reaksi kalsite. Ketika pH naik maka jumlah karbonat akan menurun karena terjadi kesetimbangan antara karbonat dan CO<sub>2</sub>.

#### 2.1.3.1.4 Sulfat dan Sulfida

Kehadiran deposit dan batuan yang mengandung sulfur yang disebabkan adanya rembesan air panas akan mengakibatkan terjadinya reaksi  $H_2S$  dan  $H_2SO_4$  melalui reaksi:



Pada daerah yang secara geologis merupakan vulkanik aktif, jika terdapat sulfur dioksida maka akan membentuk asam sulfat dengan air hangat melalui reaksi:



jika jumlah sulfur dioksidanya cukup banyak maka akan mempengaruhi pH. Jumlah sulfat didalam fluida panasbumi cenderung berkurang ketika jumlah Ca besar karena terjadi reaksi kesetimbangan sebagai berikut:



#### 2.1.3.1.5 Fluoride

Konsentrasi dari fluoride dibatasi oleh kelarutan dari kalsium fluoride. Fluoride dapat segera larut bila dalam bentuk rhyolite tetapi sangat lambat bila terdapat di batuan silika (silicified rock).

#### 2.1.3.1.6 Sodium

Karena melimpahnya NaCl dan tingginya kelarutan NaCl dalam air, maka jumlah natrium yang terdapat didalam fluida tidak dibatasi oleh nilai

kesetimbangan apapun. Yang mempengaruhi jumlah Na hanyalah sejarah pembentukan sistem panasbumi dan temperatur dari fluida.

#### 2.1.3.1.7 Kalium

Konsentrasi kalium ditentukan oleh pertukaran kesetimbangan antara Na dan Kalium dengan alumino-silikat. Rasio variasi antara Na dan K dalam air dihubungkan oleh kesetimbangan albite dan K-feldspar.

#### 2.1.3.1.8 Calcium

Karena ion kalsium mengalami kesetimbangan dengan kalsit di batuan reservoir, maka konsentrasi karbonat dan kalsium merupakan fungsi temperatur. Kalsium juga sangat bergantung dengan pH karena adanya reaksi kesetimbangan antara lumino silikat dan Na. Secara umum konsentrasi karbonat dan sulfat akan berjumlah terbatas terhadap kalsium karena sifat kelarutan dari  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaSO}_4$ .

#### 2.1.3.1.9 Litium

Litium ditemukan dalam jumlah ratusan ppm. Selain itu litium tidak terkonsentrasi di larutan fluida saja sehingga pada batuan yang terdapat di reservoir juga memiliki kandungan litium yang sama.

#### 2.1.3.1.9 Besi dan Alumunium

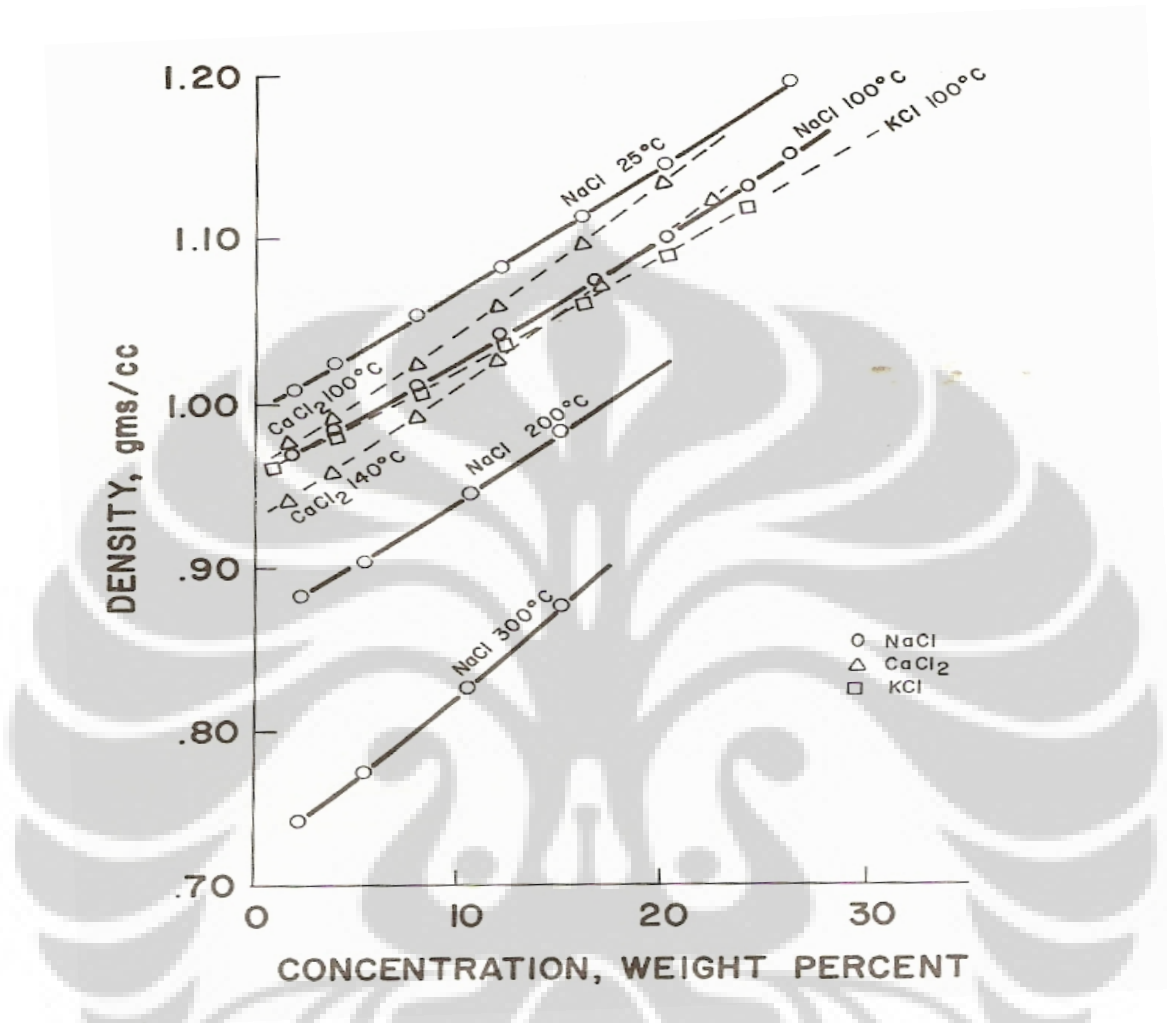
Besi dan alumunium akan membentuk kompleks yang tidak larut dengan silika sehingga ditemukan dalam jumlah yang sangat kecil, sekitar 1 ppm, di fluida panasbumi.

#### 2.1.4 Sifat Fisika *Brine*

Sifat fisika dari *brine* yang berhubungan dengan termodinamika, sifat transport (*transport properties*) dan efek antarmuka (*interfacial*) harus diketahui untuk merancang instalasi pengelolaan *brine* panasbumi. Sifat fisika yang paling penting dalam proses perancangan adalah densitas dan kapasitas panas. Sifat fisika dari *brine* panas bumi dapat diketahui dari sifat fisika larutan NaCl yang disesuaikan kandungan kalium dan kalsium karena merupakan senyawa yang dominan terdapat dalam *brine* panasbumi<sup>[14]</sup>. Metode yang paling sederhana dan cukup akurat yang sering dilakukan adalah mengkoreksi sifat fisika air berdasarkan konsentrasi berat garam.

##### 2.1.4.1 Densitas

Densitas air dari larutan senyawa-senyawa utama *brine* panasbumi, yaitu NaCl, KCl, dan CaCl, diteliti sebagai fungsi konsentrasi pada beberapa perlakuan suhu yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Kurva densitas larutan garam pada beberapa suhu untuk elemen utama *brine* panasbumi<sup>[14]</sup>

Dari gambar diatas terlihat bahwa garam memiliki pengaruh yang kecil terhadap densitas air walaupun di suhu yang berbeda. Densitas *brine* panasbumi dapat diketahui dengan melakukan koreksi terhadap densitas air menggunakan larutan NaCl sebagai faktor koreksi<sup>[14]</sup>.

$$\rho = \rho_w + 0,0073wt \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana  $\rho_w$  merupakan densitas air,  $\rho_b$  merupakan densitas brine, dan  $w_t$  merupakan persen berat dari NaCl. Persamaan diatas hanya valid sampai suhu 200° C dan konsentrasi berat 20% atau 200000 ppm<sup>[14]</sup> .

#### 2.1.4.2 Kapasitas panas (*heat capacity*)

Kapasitas panas padatan garam seperti NaCl dibandingkan air adalah 0,2 dimana kapasitas panas air adalah 1. Untuk mengetahui kapasitas panas *brine* maka dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.6 yang didapatkan secara empiris<sup>[14]</sup>:

$$c = c_w (1 - w_t/100) \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana  $c$  adalah kapasitas panas brine,  $c_w$  adalah kapasitas panas air, dan  $w_t$  adalah jumlah padatan terlarut.

#### 2.1.5 Efek *Flashing* pada Komposisi Brine

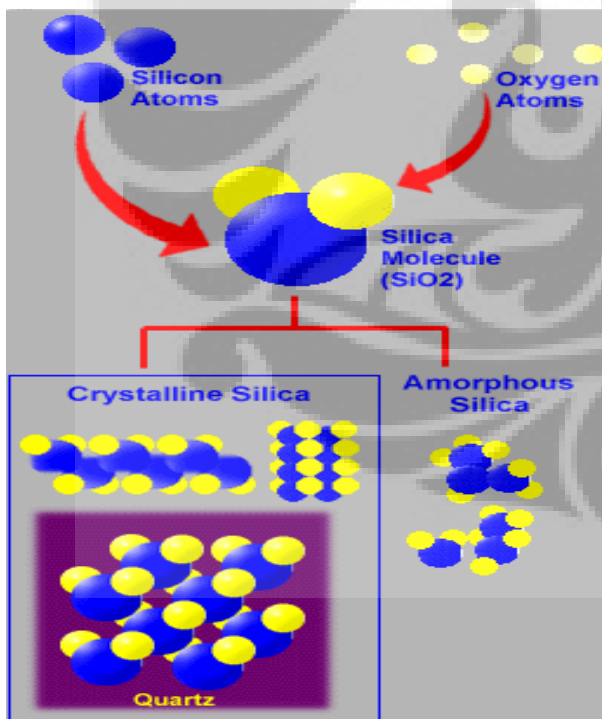
Produksi *brine* panasbumi oleh laju fluida *hydrothermal* dari reservoir kemudian naik ke sumur produksi selalu dibarengi dengan *flashing* sejumlah fluida karena turunnya tekanan di bagian atas sumur. Pada umumnya laju alir yang tinggi akan menyebabkan terjadinya *flashing* yang lebih tinggi.

*Flashing* mempengaruhi komposisi fluida dalam 2 cara. Yang pertama adalah konsentrasi silika semakin pekat karena kehilangan sejumlah air yang berubah menjadi uap dan yang kedua adalah pelepasan gas seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S yang akan mempengaruhi pH dari fluida<sup>[14]</sup>.

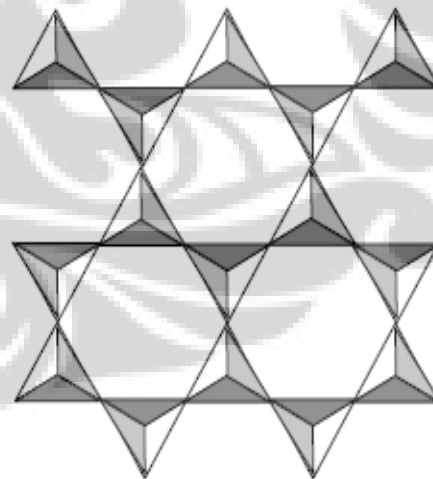
## 2.2 Silika

### 2.2.1 Struktur Silika

Silika mempunyai bentuk kristalin dan *amorphous*. Silika gelas yang disebut juga vitreous adalah  $\text{SiO}_2$  yang mempunyai struktur *amorphous*. Silika gelas tersebut mempunyai kerangka Si-O tetrahedron yang berikatan pada ujung dengan ujung. Karena banyaknya kemungkinan variasi yang terjadi dengan model tetrahedral yang berikatan di ujung, silika dapat memiliki berbagai macam bentuk struktur kristal. Tetrahedral ini dapat berupa unit terpisah seperti pada Gambar 2.5 dan bergabung menjadi rantai atau cincin dari 2, 3, 4 atau 6 gugus seperti pada Gambar 2.4<sup>[14]</sup>.

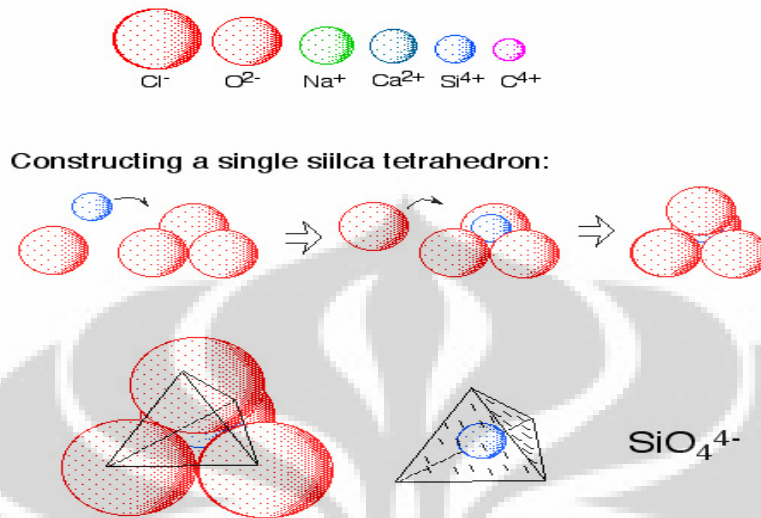


Gambar 2.4 Silika<sup>[21]</sup>



Gambar 2.5 Bentuk Ruang Polisilikat<sup>[14]</sup>





Gambar 2.6 Struktur Tetrahedron Silika<sup>[21]</sup>

Pada temperatur kamar, bentuk kristalin silika terdapat dalam tiga macam yaitu kwarsa (stabil hingga 870° C), tridimit (stabil 870° C - 1470° C) dengan struktur kristal heksagonal, dan kristobalit (stabil 1470° C -1710° C) dengan struktur kristal kubus<sup>[14]</sup>. Setiap bentuk berada dalam modifikasi temperatur rendah ( $\alpha$ ) dan temperatur tinggi ( $\beta$ ) dengan temperatur transisi kira-kira 573° C untuk kwarsa, 120° – 160° C untuk tridimit dan 200° – 275° C untuk kristobalit. Struktur kristal dari kwarsa  $\beta$  adalah heksagonal, sedangkan kwarsa  $\alpha$  struktur kristalnya trigonal<sup>[14]</sup>. Perubahan kwarsa menjadi tridimit melibatkan perubahan ikatan-ikatan oleh karena itu merupakan proses yang lambat, sedangkan perubahan kwarsa-  $\alpha$  menjadi kwarsa-  $\beta$  melibatkan hanya sedikit distorsi bentuk tanpa pemecahan ikatan dan konsekuensinya merupakan proses yang reversibel. Bentuk umum silika (SiO<sub>2</sub>) yaitu kwarsa,

yang terdapat pada sebagian besar batuan-batuan sedimen alam dari batuan-batuan metapirik. Kwarsa sangat stabil secara termodinamika dengan  $\Delta H_f^\circ = -910,94 \text{ kJ mol}^{-1}$  dan  $\Delta G_f^\circ = -856,64 \text{ kJ mol}^{-1}$ <sup>[14]</sup>. Pasir juga merupakan bentuk lain dari silika.

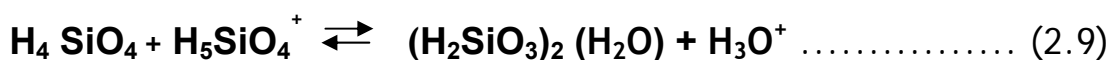
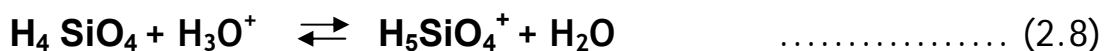
### 2.2.2 Kesetimbangan Asam Silikat

Larutan silika umumnya terdapat dalam bentuk monomer asam silikat. Hal ini secara stoikiometri sama dengan 2 hidrat air dan silika membentuk ortho asam silikat,  $\text{H}_4 \text{SiO}_4$  seperti terlihat dalam reaksi dibawah ini:

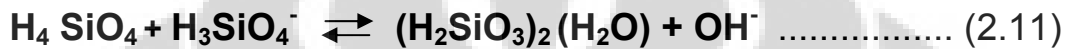
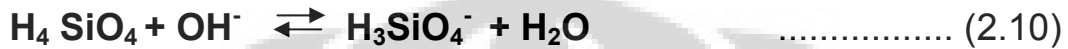


Kesetimbangan asam silikat sangat bergantung pH, temperatur, tekanan, dan kation logam yang terdapat didalam larutan.

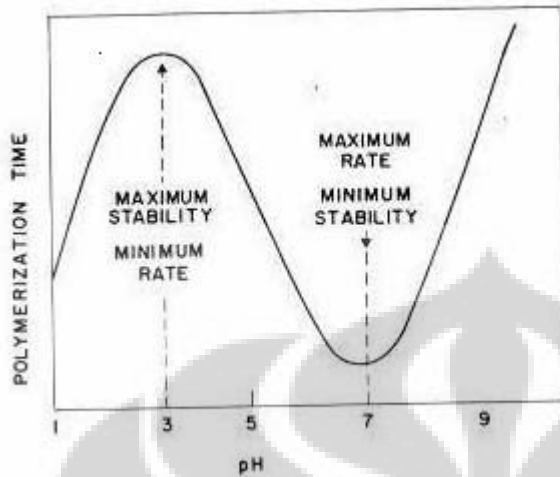
Monomer asam silikat dapat berubah menjadi poli asam silikat. Pada suasana asam, sebagian asam silikat akan berubah menjadi kation asam silikat yang bereaksi dengan asam silikat menjadi dimer atau polimer asam silikat. Kestabilan maksimum pada suasana asam terjadi pada pH 1-3 dimanalaju polimerisasinya minimum. Hal ini terlihat dari reaksi kesetimbangannya<sup>[14]</sup>:



Laju maksimum polimerisasi terjadi pada pH netral yang disebabkan minimumnya kestabilan. Sedangkan pada pH basa laju minimum polimerisasi dicapai pada pH diatas 10 dimana kestabilannya maksimum<sup>[10]</sup>. Hal ini sesuai dengan reaksi dibawah ini:



Kestabilan maksimum yang dimaksud disini adalah kemungkinan minimum terjadinya pengendapan pada larutan lewat jenuh asam silikat. Laju polimerisasi berdasarkan pH juga dapat dilihat dari energi aktivasinya pada temperatur 25° C. Pada pH asam, antara pH 4-5, energi aktivasinya lebih besar dari energi aktivasi pada pH 8. Hal ini menunjukkan bahwa agar terjadi polimerisasi memerlukan energi yang besar. Pada pH sangat basa, diatas pH 10, energi aktivasinya juga lebih besar dari pH 8. Jadi laju polimerisasi lebih cepat terjadi pada pH 8 dibandingkan antara pH 4-5 dan pada pH diatas 10<sup>[10]</sup>.



Gambar 2.7 Laju Polimerisasi Pada berbagai pH<sup>[14]</sup>

### 2.2.3 Bentuk Silika

Bentuk senyawa silika sangat kompleks dan sulit untuk diprediksi. Pada sistem air panasbumi silika dapat berada dalam tiga bentuk antara lain<sup>(10)</sup> :

1. Monomer silika atau asam silikat ( $H_4SiO_4$ ).
2. Polimer silika disamakan sebagai koloid silika yang tidak reaktif yang dihasilkan dari polimerisasi asam silikat.
3. Granula atau partikulat silika ( $SiO_2$ ).

### 2.2.4 Kelarutan Silika

Kelarutan silika amorf ditentukan sebagai fungsi dari temperatur seperti terlihat pada Gambar 2.8. Semakin tinggi temperaturnya maka kelarutan silika semakin besar. Dalam reservoir panasbumi terdapat kesetimbangan silika dalam bentuk *quartz* sesuai reaksi<sup>(14)</sup> :

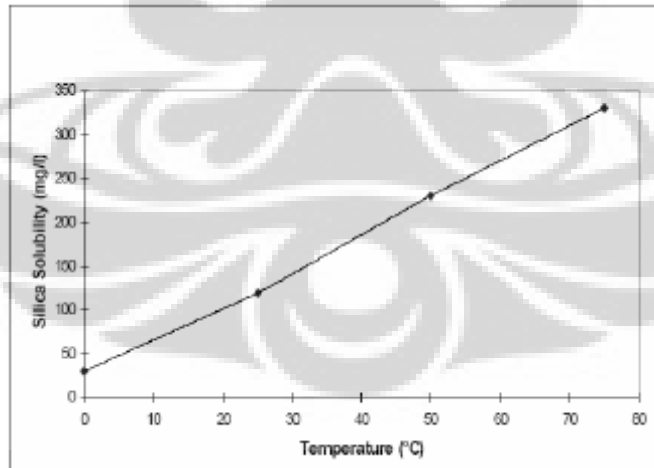


Reaksi tersebut mempunyai ketergantungan terhadap temperatur, pH dan salinitas.

Pengendapan silika yang terjadi pada permukaan (temperatur lebih rendah dari temperatur reservoar) dikontrol oleh kesetimbangan dengan amorphous silika yang bersifat lebih larut daripada quartz. Hubungan antara kelarutan amorphous silika dengan temperatur ditunjukkan oleh persamaan Fournier dan Rowe<sup>[13]</sup> :

$$\log C = 4.52 - (731/T) \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana C dan T masing-masing adalah konsentrasi *quartz* (mg/kg) dan temperatur (kelvin).



Gambar 2.8 Grafik Kelarutan Silika sebagai fungsi dari temperatur<sup>[14]</sup>

Kelarutan silika juga dipengaruhi oleh salinitas dimana pengaruh salinitas terhadap kelarutan silika ditunjukkan oleh persamaan Setchenow<sup>[8]</sup> :

$$S(T,m) = C_{(T, m=0)} \times 10^{-mD(T)} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

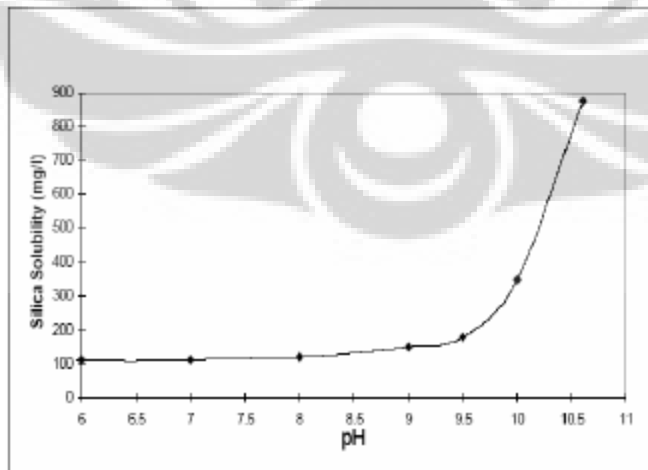
dimana  $S(T,m)$  adalah kelarutan silika terkoreksi dalam mg/kg pada temperatur ( $T$  dalam kelvin) dan salinitas ( $m$  dalam molal) yang sesuai dan  $D(t)$  merupakan persamaan yang diberikan oleh Chen dan Marshall<sup>[8]</sup>, yaitu :

$$D(t) = -1.0596 - 0.001573 t \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana  $t$  adalah temperatur dalam °C.

Hal lain yang mempengaruhi kelarutan silika adalah tekanan<sup>[12]</sup>. Ketika tekanan dinaikkan dari 1-150 atm, kelarutan silika meningkat dari 65 ppm menjadi 71 ppm. Secara umum pengaruh tekanan kurang signifikan dibandingkan pengaruh temperatur.

Selain itu kelarutan silika amorf juga ditentukan sebagai fungsi dari pH seperti yang terlihat pada Gambar 2.8. Pada larutan yang sangat basa dengan pH diatas 10, kelarutan silika meningkat tajam sedangkan konsentrasi polimer silika menurun atau konsentrasi silika terionisasi meningkat.

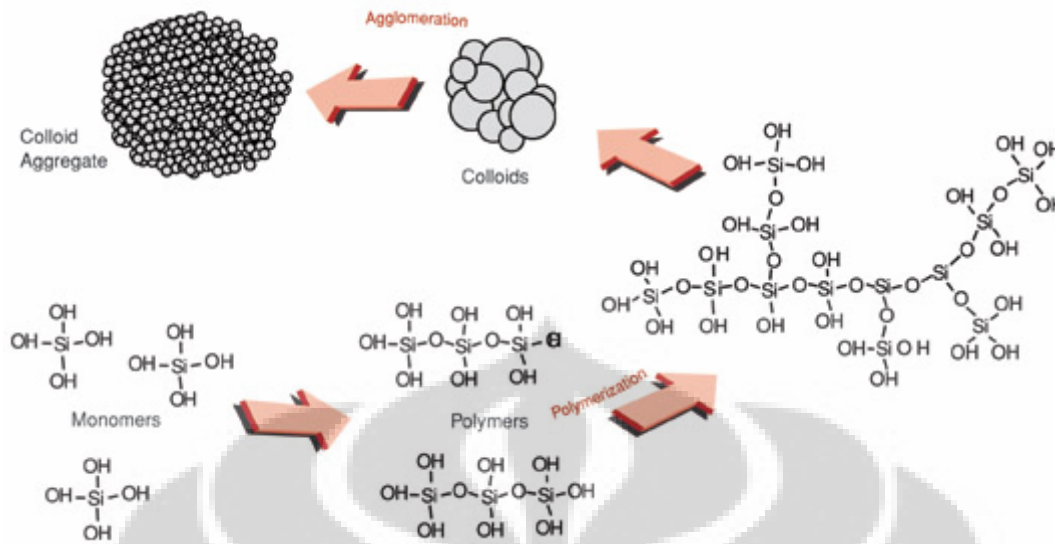


Gambar 2.9 Grafik Kelarutan Silika sebagai fungsi dari pH<sup>[14]</sup>

### 2.2.5 Polimerisasi Silika

Dalam larutan lewat jenuh, asam silikat berpolimer dengan cara menghilangkan air dan membentuk asam disilikat yang kemudian membentuk polimer yang lebih tinggi. Metode dalam memprediksi distribusi kesetimbangan polimer belum diketahui.

Kinetika polimerisasi asam silikat sangat dipengaruhi oleh pH dan temperatur. Laju reaksi akan meningkat seiring dengan naiknya temperatur sehingga polimerisasi dan pengendapan akan berlangsung lebih cepat pada temperatur 90°C daripada temperatur kamar. Laju pembentukan gel sangat dipengaruhi oleh pH larutan. Banyak peneliti telah menemukan bahwa pada kondisi asam, kestabilan maksimum dicapai pada rentang pH 2-5. Kestabilan maksimum disini berarti kemungkinan terkecil terjadinya endapan larutan asam silika lewat jenuh. Laju maksimum pembentukan gel terjadi pada rentang pH 6-9. pH tepatnya bergantung pada beberapa faktor seperti konsentrasi silika dan elektrolit. Pada larutan yang sangat basa, diatas pH 9 dan sangat asam, dibawah pH 3, laju reaksi menurun<sup>[10]</sup>.



Gambar 2.10 Mekanisme polimerisasi Silika<sup>[14]</sup>

### 2.3 Kerak Silika (*Silica Scale*)

Parameter penting dalam hubungannya dengan pengendapan silika adalah *silica saturation index* (SSI) yang merupakan perbandingan antara konsentrasi silika dalam larutan dengan kelarutan *quartz* silika pada kondisi yang sama<sup>[8]</sup>. Parameter SSI dapat digunakan untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya pembentukan kerak, yaitu dengan kriteria sebagai berikut :

- Bila  $SSI > 1$ , fluida dalam kondisi supersaturated dan pengendapan silika dimungkinkan.
- Bila  $SSI = 1$ , fluida dalam kondisi jenuh (*saturated*).
- Bila  $SSI < 1$ , fluida dalam kondisi tidak jenuh (*undersaturated*), sehingga tidak mungkin terjadi pengendapan silika.



Pengendapan silika yang diperoleh dari larutan lewat jenuh adalah proses yang kontinyu, dimana koloid silika yang terbentuk secara perlahan-lahan terkoagulasi menjadi gel atau endapan.

### 2.3.1 Inhibitor Kerak

Inhibitor kerak adalah bahan kimia yang digunakan untuk menghambat, mengurangi, atau mencegah laju pembentukan kerak. Inhibitor kerak yang sering digunakan dibagi menjadi 2 jenis <sup>[9,10,15,16,17]</sup>, yaitu:

- a. Inhibitor polimer, contohnya asam poliakrilat dan asam polimaleat.
- b. Inhibitor non polimer, contohnya asam borat dan asam-asam karboksilat.

Sebelum digunakan, inhibitor harus diseleksi dan diuji berdasarkan keefektifan dan juga harganya. Keefektifan dan efisiensi inhibitor terhadap air garam dapat diuji dan dievaluasi dilaboratorium. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam memilih inhibitor kerak, yaitu:

- a. Komposisi kimia Kerja inhibitor kerak tertentu yang efektif dan efisien mungkin hanya cocok untuk air yang mengandung ion logam tertentu saja.
- b. Pembentukan kerak dipengaruhi oleh tingkat lewatjenuhnya

Jika hanya sedikit kerak yang terbentuk per unit volume air, berarti inhibitor kerak bekerja dengan baik atau efisiensinya tinggi. Pada laju pergerakan yang tinggi beberapa senyawa tidak dapat bekerja dengan baik atau tidak efektif. Hasil pemeriksaan laboratorium dapat digunakan sebagai

panduan untuk mengetahui konsentrasi inhibitor kerak pada kecepatan pergerakan yang tinggi

Inhibitor kerak pada umumnya tidak efektif, jika digunakan pada temperatur yang terlalu tinggi. Hal ini karena untuk inhibitor asam polimer pada temperatur yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya rantai polimernya sehingga sifat inhibisinya juga berkurang.

### **2.3.2 Mekanisme Inhibisi Kerak Silika**

Inhibitor asam dipercaya mampu menginhibisi kerak silika dengan cara<sup>[9]</sup>:

- a. Mengabsorpsi pertumbuhan kristalnya. Pertama-tama inhibitor teradsorpsi di permukaan kristal  $\text{SiO}_2$  dan akan menyebabkan terjadinya kekacauan pada proses pertumbuhan kristal.
- b. Menjaga kelarutan silika. Inhibitor kerak sebaiknya digunakan pada konsentrasi yang disesuaikan dengan tingkat kebutuhan untuk memisahkan atau mendonorkan elektron ke ion logam-silika membentuk ion logam kompleks yang larut dalam air.
- c. Bekerja sebagai pendispersi, yaitu inhibitor tersebut mempunyai kemampuan untuk mendispersi partikel silika dari bentuk gumpalan, sehingga memperlambat laju pertumbuhan deposit kristal pada lingkungan kerak tersebut terjadi.

## 2.4 Instrumentasi

### 2.4.1 Spektrofotometer UV/Vis

Spektrofotometer absorpsi adalah sebuah instrumen untuk mengukur absorpsi/penyerapan cahaya dengan energi (panjang gelombang)  $\lambda$  tertentu oleh suatu atom/molekul. Spektrofotometer digunakan dalam mempelajari struktur molekul dan mengembangkannya dengan teori molekul. Kini, spektrofotometer juga banyak digunakan untuk studi bahan, lingkungan ataupun untuk mengontrol suatu proses kimiawi dalam industri. Absorpsi molekul umumnya digunakan untuk analisa kualitatif maupun kuantitatif.

Absorpsi cahaya oleh suatu molekul merupakan suatu bentuk interaksi antara gelombang cahaya (foton) dan atom/molekul. Energi cahaya diserap oleh atom/molekul dan digunakan oleh elektron di dalam atom/molekul tersebut untuk bertransisi ke tingkat energi elektronik yang lebih tinggi. Besar penyerapan cahaya (absorbansi) dari suatu kumpulan atom/molekul dinyatakan oleh Hukum Beer-Lambert.

Hukum Beer-Lambert menyatakan bahwa absorbansi cahaya berbanding lurus dengan dengan konsentrasi dan ketebalan bahan/medium, yaitu:

$$A = \epsilon c l \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

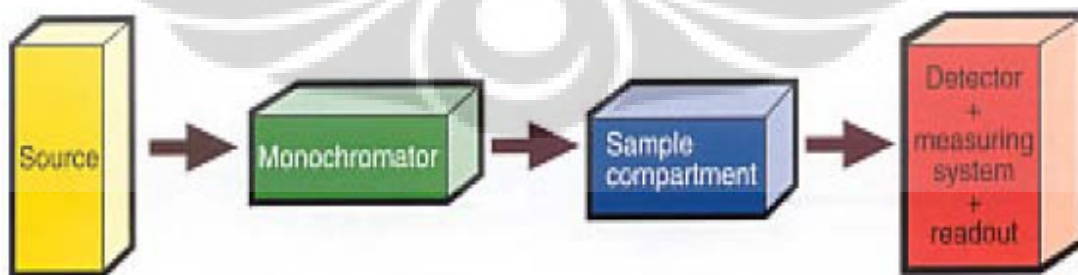
dimana  $\epsilon$  adalah molar absorptivitas untuk panjang gelombang tertentu, atau disebut juga sebagai koefisien ekstinsif (dalam  $\text{l mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$ ),  $c$

adalah konsentrasi molar ( $\text{mol l}^{-1}$ ),  $l$  adalah panjang/ketebalan dari bahan/medium yang dilintasi oleh cahaya (cm).

Gambar 2.11 menunjukkan skema dari konstruksi spektrofotometer yang paling sederhana yang terdiri dari:

- a. Sumber cahaya, yang berfungsi untuk memberikan energi radiasi pada daerah panjang gelombang yang tepat untuk pengukuran dan mempertahankan intensitas sinar yang tetap selama pengukuran.
- b. Monokromator, yang berfungsi sebagai penyeleksi cahaya dengan panjang gelombang (energi) tertentu.
- c. Kompartemen sampel, wadah sampel adalah sel untuk memasukkan cairan ke dalam berkas cahaya spektrofotometer. Sel tersebut haruslah meneruskan energi cahaya dalam daerah spectra yang diamati.
- d. Detektor dan pengukur intensitas cahaya, berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi isyarat listrik.

Prinsip kerja alat Spektrofotometer UV/VIS dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut ini:

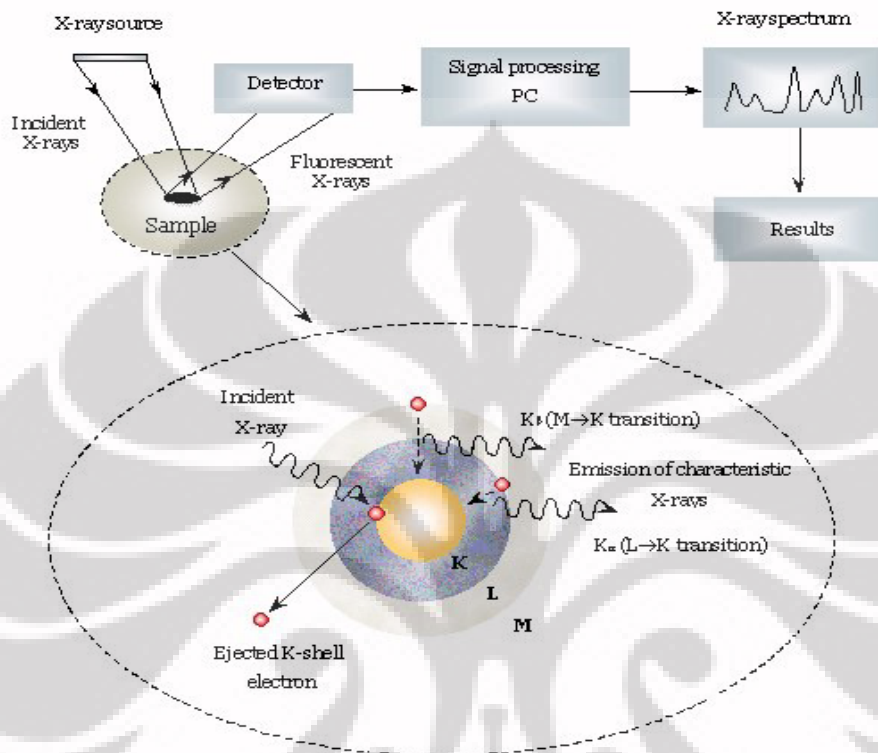


Gambar 2.11 Bagan Prinsip Kerja Alat Spektrofotometer UV/VIS

## 2.4.2 XRF (*X-Ray Fluorescence*)

XRF banyak di pergunakan untuk analisa elemen baik secara kualitatif maupun kuantitatif diberbagai bidang diantaranya lingkungan, geologi, biologi dan industri. Dibandingkan dengan teknik analisa yang lain seperti, *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)*, *Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS)* dan *Neutron Activation Analysis (NAA)*, XRF memiliki beberapa keuntungan non destruktif, multi-elemen, lebih cepat dan harga yang lebih murah.

*X-ray fluorescence* secara prinsip dapat dilihat pada gambar 2.12. Elektron deeksitasi dari kulit dekat inti ketika photan datang pada daerah sinar-X. Selama proses deeksitasi, elektron bergerak dari tingkat energi tinggi ke daerah kekosongan. Perbedaan energi antara 2 kulit, akan menghasilkan sinar-x, yang di emisikan oleh atom *sample*. Spektrum sinar X dipreoleh selama proses diatas menunjukkan puncak karakteristik. Puncak energi yang dihasilkan menunjukkan identitas penyusun dari sample (analisa kualitatif), intensitas puncak menuntukan konsentrasi unsur penyusun (analisa semi-kuantitatif atau kuantitatif). Gambar 2.12. menunjukkan jenis XRF yang didalamnya sumber radiasi primer (biasanya radioisotope atau tabung sinar-x) dan perlengkapan untuk mendeteksi sinar-x sekunder.

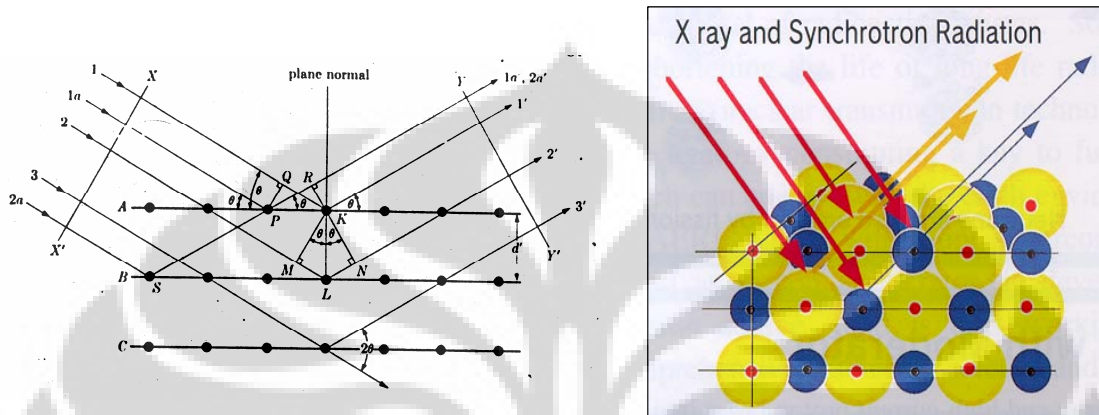


Gambar 2.12 Prinsip Kerja Alat XRF

### 2.4.3 XRD (X-Ray Diffraction)

Terbentuknya suatu pola difraksi konstruktif hanya bisa terjadi apabila dua gelombang atau lebih mempunyai hubungan fasa tertentu. Namun disini titik fokus pembahasan hanya dibatasi pada difraksi sinar-X oleh struktur kristal bahan. Jadi difraksi sinar-X yang akan ditinjau adalah berasal dari susunan atom-atom yang tersusun teratur secara periodik sesuai posisi-posisi tertentu di dalam kristal. Sehingga atom-atom di dalam kristal dapat

dipandang berada pada bidang-bidang yang sejajar satu sama lain yang dipisahkan oleh jarak  $d$ , seperti ditunjukkan oleh gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2.13 Mekanisme difraksi sinar X oleh Kristal

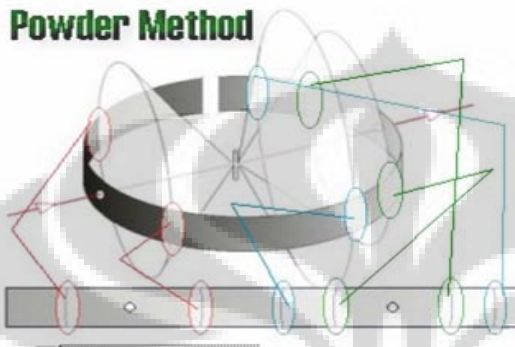
Dari gambar 2.13, diasumsikan bahwa berkas sinar-X yang datang pada bahan sejajar satu-sama lain, mempunyai hanya satu panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan dengan sudut datang dinyatakan dengan  $\theta$  terhadap bidang difraksi (sudut Bragg). Besar sudut Bragg ini tentunya akan mempunyai harga berbeda untuk tiap-tiap bidang. Sehingga persamaan

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

terpenuhi, dan persamaan ini dikenal dengan Hukum Bragg. Prinsip inilah yang kemudian digunakan dalam mesin XRD atau *X Ray Diffractometer*

XRD bekerja dengan asas hukum Bragg. Sampel yang akan dianalisis disinari oleh sinar-X. Kemudian suatu sensor bergerak mengitari sampel dan mengukur intensitas sinar X pada titik tersebut seperti pada Gambar 2.14.

Selanjutnya data intensitas ini dianalisis lebih lanjut sehingga dapat diketahui sistem kristal yang membentuknya.



Gambar 2.14 X-ray Diffraction dengan sampel bubuk atau polikristal

Teknik analisis ini relatif mudah dilakukan. Terutama akibat tidak perlu preparasi sampel yang rumit untuk melakukan pengukuran. Sampel yang digunakan dapat berupa polikristal atau serbuk, dapat juga berupa monokristal. Namun memang beberapa hal harus diperhatikan seperti cara meletakkan sampel pada holder. Karena peletakkan sampel yang salah bisa menggeser titik nol pengukuran sehingga pembacaan menjadi tidak akurat lagi.

#### 2.4.4 SEM (*Scanning Elektron Microscope*)

Korelasi antara tegangan dan panjang gelombang serta resolusi (daya pisah) dan panjang gelombang merupakan prinsip dasar dalam mengoperasikan Scanning Microskop Elektron (SEM). Berdasarkan hasil pengamatan Thomson (1897) dan hipotesa L. de Broglie (1924), berkas



elektron dapat dibelokkan dan difokuskan oleh medan magnet dengan panjang gelombang elektron ( $\lambda$ ) dibuat sangat pendek sesuai dengan persamaan :

$$\lambda = h / m v \text{ (}^\circ\text{A)} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

- di mana
- $\lambda$  = panjang gelombang
  - $h$  = konstanta Planck
  - $m$  = massa elektron
  - $v$  = kecepatan elektron

Berdasarkan hubungan antara voltase dan panjang gelombang, yakni :

$$V \sim 1/\lambda \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Diketahui bahwa makin tinggi voltase maka makin pendek panjang gelombang. Sedangkan hubungan antara daya pisah (*resolution*) dengan panjang gelombang dinyatakan dalam rumus *Reyleigh* :

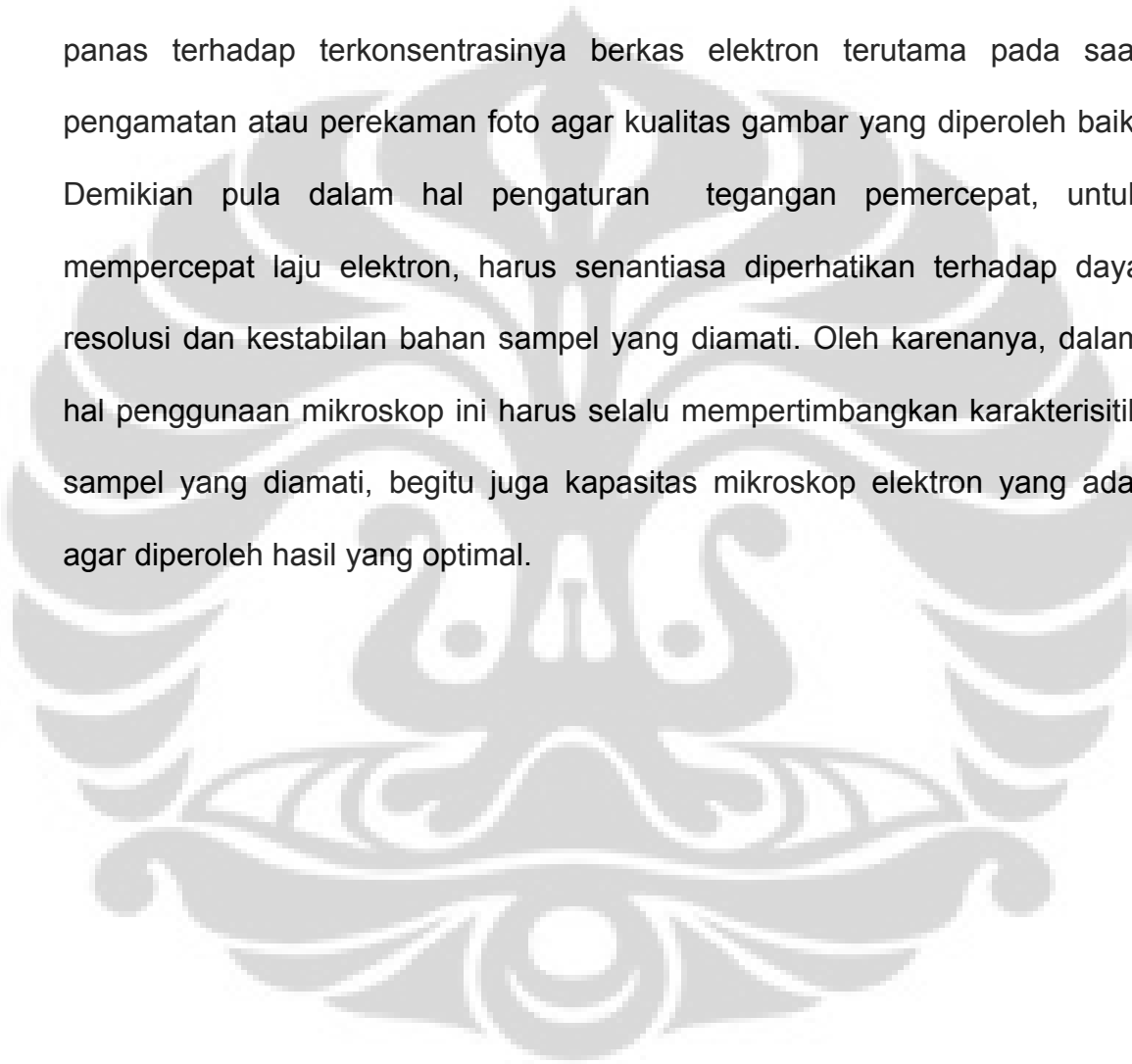
$$R = 0.61 \lambda / \alpha \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

Di mana  $R$  = daya pisah (*resolution*),  $\lambda$  = panjang gelombang,  $\alpha$  = *Aperture* efektif lensa obyektif.

Pengamatan sampel dengan mikroskop elektron membutuhkan beberapa persyaratan yang berkaitan dengan interaksi elektron dan materi agar dapat diperoleh informasi yang diinginkan. Persyaratan utama agar sampel dapat diamati adalah harus konduktif. Akan tetapi untuk sampel yang non konduktif atau konduktivitasnya rendah harus dibuat konduktif atau

ditingkatkan konduktivitasnya dengan cara melapis permukaan sampel dengan logam-logam berat atau carbon.

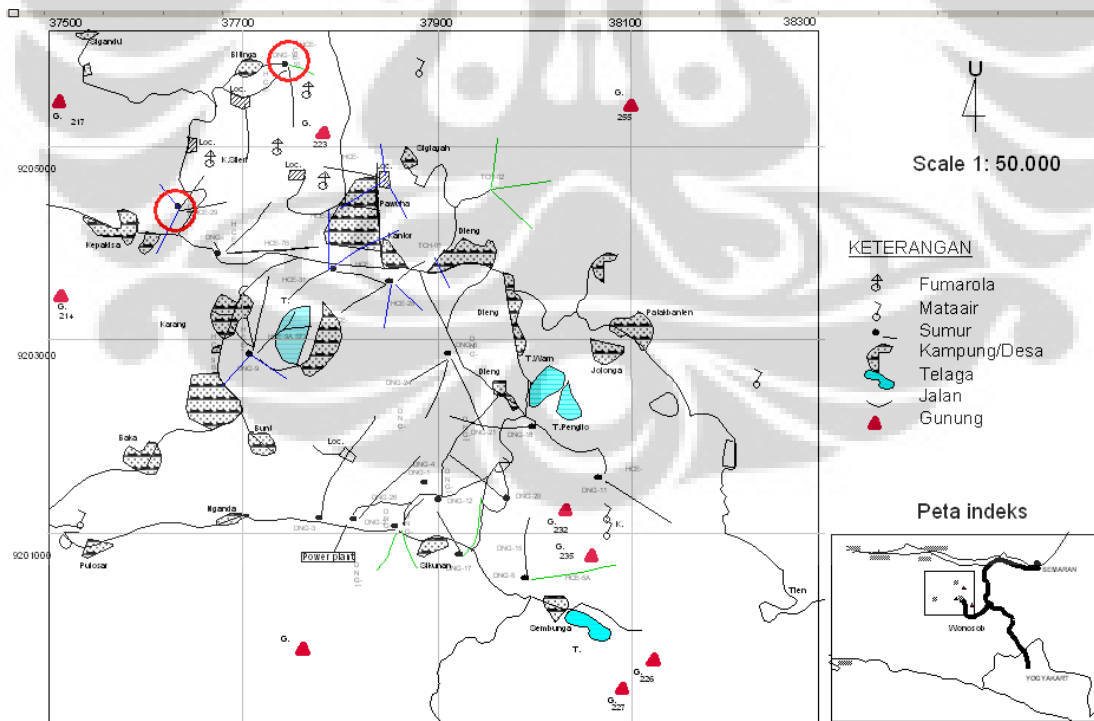
Untuk memperoleh informasi yang rinci biasanya digunakan perbesaran yang relatif tinggi. Dalam hal ini sampel harus stabil atau tahan panas terhadap terkonsentrasinya berkas elektron terutama pada saat pengamatan atau perekaman foto agar kualitas gambar yang diperoleh baik. Demikian pula dalam hal pengaturan tegangan pemercepat, untuk mempercepat laju elektron, harus senantiasa diperhatikan terhadap daya resolusi dan kestabilan bahan sampel yang diamati. Oleh karenanya, dalam hal penggunaan mikroskop ini harus selalu mempertimbangkan karakteristik sampel yang diamati, begitu juga kapasitas mikroskop elektron yang ada, agar diperoleh hasil yang optimal.



## BAB III METODE PENELITIAN

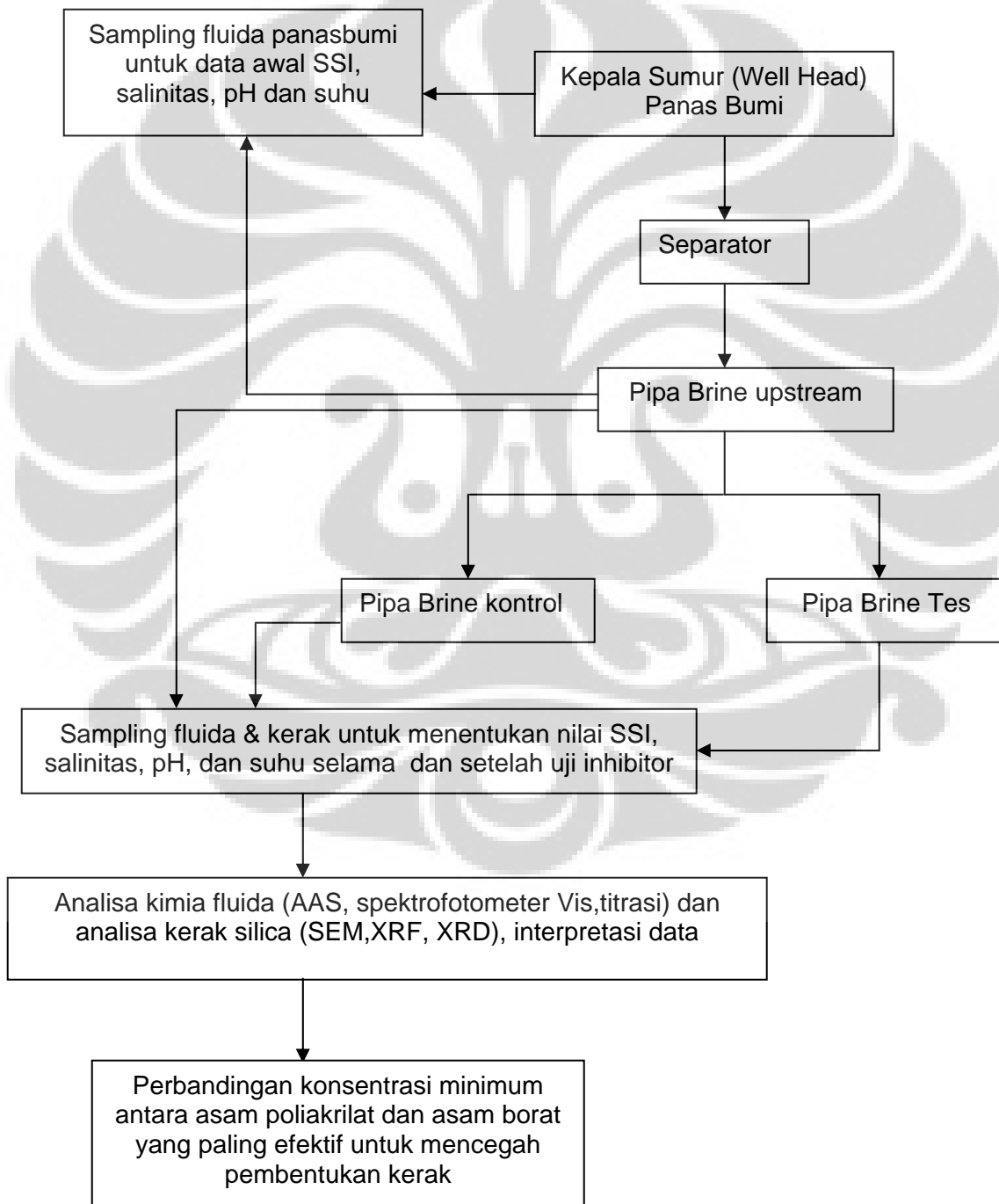
### 3.1 SKEMA KERJA PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian dan menguji hipotesa, perlu dilakukan strategi penelitian yang meliputi variasi konsentrasi penambahan inhibitor kerak silika, pengambilan sampel fluida blanko dan uji, analisis kandungan silika fluida blanko dan uji, pengolahan data serta interpretasi data. Lokasi yang digunakan sebagai tempat penelitian adalah lapangan panasbumi Dieng, Jawa Tengah (Gambar 3.1) yang merupakan representasi reservoir panasbumi dominan cair (*liquid dominated*).



Gambar 3.1. Lokasi uji inhibisi kerak silika di lapangan panasbumi Dieng<sup>[15]</sup>

Aplikasi inhibitor scaling yang akan diujicobakan adalah campuran antara asam poliakrilat dan asam borat diujicobakan pada sumur 7C kepunyaan PT Geodipa Energi unit Dieng yang mengelola PLTP (Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi) dataran tinggi Dieng, Jawa Tengah. Adapun alur kerja penelitian ini adalah:



Gambar 3.2 Diagram alir Penelitian

### 3.1.1 Pengumpulan Data Awal

Sebelum dilakukan pengujian terhadap fluida panasbumi dalam menghambat kerak silika dengan menggunakan inhibitor maka dilakukan pengumpulan data awal fluida, yang ada di semua kepala sumur serta pipa brine produksi guna mengetahui potensi pengkerakan silika (SSI) yaitu suhu dan salinitasnya. Selain itu juga dilakukan pengambilan sampel kerak silika pada pipa brine produksi.

Agar mempermudah perhitungan inhibitor yang dibutuhkan maka harus diketahui berapa persentase fraksi uap dan brine dari sumur produksi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.1 dan 3.2

$$Y = \frac{H_L - H_{LA}}{H_{VA} - H_{LA}} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$X = 1 - Y \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana  $H_L$  merupakan entalpi liquid pada suhu reservoir,  $H_{LA}$  adalah entalpi liquid pada suhu brine setelah separator dan  $H_{VA}$  merupakan entalpi uap pada suhu brine setelah separator. Harga entalpi didapat dari steam table. Sedangkan Y adalah fraksi uap dan X adalah fraksi brine. Untuk mendapat persentase X dan Y harus dikalikan 100%

Hasil analisis dari silika dan ion klorida dari sampel pendahuluan perlu diolah lebih lanjut. Pengolahan ini bertujuan untuk mengetahui apakah indeks jenuh silika (SSI) menunjukkan adanya potensi pembentukan kerak atau sebaliknya. Penghitungan ini perlu karena untuk mengetahui potensi

pembentukan kerak di sumur produksi dan dipengaruhi oleh parameter dilapangan. Pada jalur pipa produksi individu, komposisi kimia fluida yang diproduksi dari masing-masing sumur telah diketahui, sehingga kelarutan monomer silika dan parameter *silica saturation index* (SSI) dapat dihitung secara langsung<sup>[8]</sup>. Prosedur perhitungan kelarutan monomer silika dan SSI adalah sebagai berikut :

- a) Hitung kelarutan monomer silika dalam sampel dengan analisa spektrofotometer dan kelarutan *quartz* silika pada temperatur yang sesuai,  $S(T, m=0)$ , menggunakan Persamaan 3.3<sup>[13]</sup>.

$$\log C_{\text{quartz}} = 4.52 - (731/T) \dots\dots\dots (3.3)$$

- b) Hitung salinitas fluida yang diproduksi dalam molal (m), berdasarkan data kandungan khlorida dimana kadar salinitas didapat dari titrasi sampel dengan menggunakan  $\text{AgNO}_3$  dan indikator kromat.

$$\text{Salinitas (m)} = \text{ppm Cl} / (35.5 \times 1000) \dots\dots\dots (3.4)$$

- c) Hitung kelarutan monomer silika terkoreksi terhadap salinitas,  $S(T, m)$ , pada temperatur yang sesuai dengan menggunakan persamaan 3.5, dan persamaan 3.6<sup>[8]</sup>.

$$D(t) = -1.0596 - 0.001573 t \dots\dots\dots (3.5)$$

$$S(T, m) = C_M = C_{(T, m=0)} \times 10^{-mD(T)} \dots\dots\dots (3.6)$$

- d) Hitung besarnya SSI, yaitu dengan membandingkan konsentrasi *quartz* silika dalam fluida berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan 3.1

dengan kelarutan monomer silika terkoreksi dari hasil perhitungan pada kondisi yang sama.

e) Perkirakan potensi pembentukan kerak silika menggunakan kriteria yang telah disebutkan dalam teori. SSI dapat digunakan untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya kerak silika, yaitu dengan kriteria sebagai berikut :

- Bila  $SSI > 1$ , fluida dalam kondisi *supersaturated* dan pengendapan silika dimungkinkan.
- Bila  $SSI = 1$ , fluida dalam kondisi jenuh (*saturated*).
- Bila  $SSI < 1$ , fluida dalam kondisi tidak jenuh (*undersaturated*), sehingga tidak mungkin terjadi pengendapan silika.

$$SSI = \frac{C_M}{C_{quartz}} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan  $C_M$  adalah konsentrasi monomer silika dalam larutan (mg/L) dan  $C_{quartz}$  adalah kelarutan *quartz* silika dalam air murni pada kondisi yang sama dengan menggunakan persamaan 3.1. Pengendapan silika yang terjadi pada permukaan (temperatur lebih rendah dari temperatur reservoir) dikontrol oleh kesetimbangan dengan monomer silika yang bersifat lebih larut daripada *quartz*. Hubungan antara kelarutan *quartz* silica dengan temperatur ditunjukkan oleh persamaan 3.1:

### 3.1.2 Uji Inhibitor

Untuk menguji keefektifan inhibitor asam borat-asam poliakrilat maka dilakukan uji di sumur produksi 7C yang menyediakan fasilitas uji. Pipa *brine* dibagi 2 dimana salah satunya ditambahkan inhibitor dan satunya lagi tidak ditambahkan inhibitor karena berfungsi sebagai kontrol. Parameter utama keberhasilan uji inhibisi ini adalah konsentrasi monomer silika terlarut.

Inhibitor ditambahkan secara kontinyu dengan menggunakan pompa sehingga konsentrasi yang ditambahkan bisa diatur. Variasi perbandingan konsentrasi (dalam ppm) asam poliakrilat dan asam borat yang akan di tes adalah 10:8, 10:5, dan 10:3 yang akan ditambahkan selama 5 hari.

Untuk mengetahui berapa banyak inhibitor yang dimasukkan kedalam pipa *brine* maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- a. Data-data yang harus diketahui adalah debit air di pipa brine ( $Q_{\text{Brine}}$ , **L/menit**), Waktu injeksi inhibitor ( $T_{\text{inh}}$ , **menit**), kapasitas pompa untuk mengatur penambahan inhibitor kedalam pipa secara konstan selama waktu injeksi ( $Q_{\text{inj}}$ , **L/menit**), Jumlah konsentrasi masing-masing inhibitor yang harus ditambahkan kedalam air brine ( $C_{\text{brine}}$ , **ppm**), diameter dalam pipa air brine ( $D_p$ , **inchi**), jarak antara penambahan inhibitor dan titik sampling ( $J_{\text{ts}}$ , **meter**), dan sebagai tambahan volume wadah tempat inhibitor yaitu *kempu*.
- b. Data-data yang harus dihitung adalah:
  - Volume pipa dari penambahan inhibitor sampai titik sampling (L)



$$V_p = \left[ \frac{D_p}{2} \times 3,14 \times 2,54 \times 0,01 \right]^2 \times 1000 \dots\dots\dots (3.8)$$

- Volume Pengenceran (L)

$$V_{pe} = J_{ts} \times V_p \dots\dots\dots (3.9)$$

- Waktu tempuh (menit)

$$T_t = \frac{V_{pe}}{Q_{brine}} \dots\dots\dots (3.10)$$

- Volume inhibitor yang akan dimasukkan (L)

$$V_{inh} = T_t \times Q_{inj} \dots\dots\dots (3.11)$$

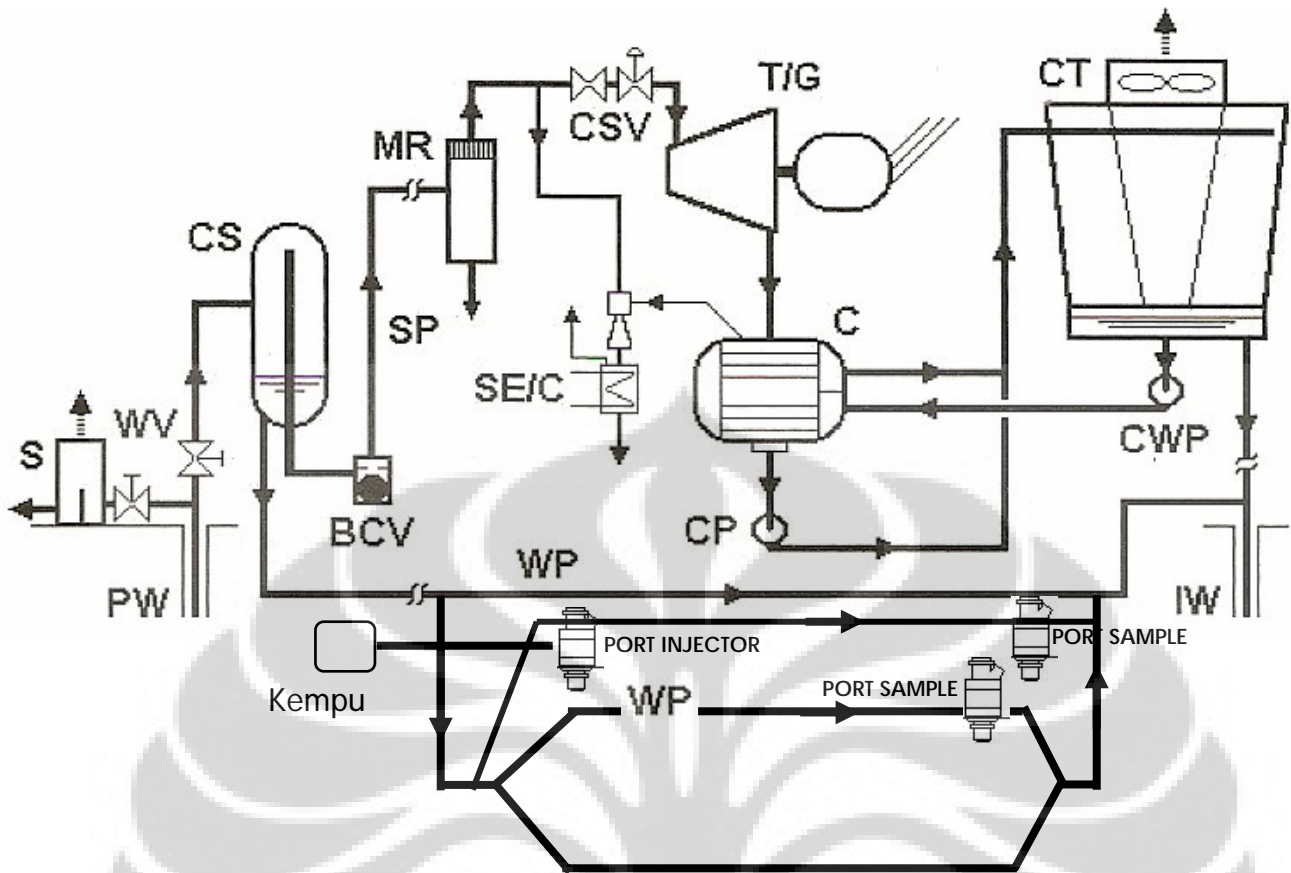
- Konsentrasi inhibitor yang harus dimasukkan kedalam wadah (ppm)

$$C_{inh} = \frac{V_{pe} \times C_{Brine}}{V_{inh}} \dots\dots\dots (3.12)$$

- Volume konsentrasi inhibitor yang harus diinjeksikan selama 7 hari (L)

$$V_{inj} = Q_{inj} \times T_{inh} \dots\dots\dots (3.13)$$

Untuk mengevaluasi keefektifan inhibitor maka dilakukan pengambilan sampel setiap hari selama 5 hari untuk setiap variabel konsentrasi inhibitor yang ditambahkan pada pipa brine tes, pipa brine kontrol, dan pipa hulu sebelum percabangan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema PLTP *Single Flash* Dieng

### 3.1.3 Pengumpulan Data, Analisa, serta Interpretasi Data

Data yang dikumpulkan adalah fluida, temperatur fluida, pH fluida pada pipa brine sebelum percabangan, di pipa brine kontrol, dan pipa brine yang ditambahkan inhibitor. Sampel fluida diambil setiap 24 jam selama 5 hari untuk setiap perbandingan konsentrasi asam borat-asam poliakrilat yang berbeda.

Sampel fluida akan dianalisa dengan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi silika dan untuk ion klorida akan digunakan titrasi argentometri. Bila titrasi tidak memungkinkan maka ion klorida akan dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis<sup>[9,10]</sup>. Sedangkan pH akan

diukur dengan menggunakan pH meter dan temperatur dengan menggunakan termometer. Untuk analisa kerak silika akan dianalisa menggunakan SEM, XRD, dan XRF.

#### 3.1.3.1 Analisis silika

Pengukuran kandungan silika dilakukan dengan metode molibdosilikat dan diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 815 nm.

Karena pengukuran dilakukan dengan metode *low range* silika maka semua sampel yang diukur harus diencerkan 1000 kali agar tidak over range yang akan terjadi pada konsentrasi 2 ppm.

Metode ini mengikuti metode dari Nalco yang menggunakan reagen yang sudah dikemas dalam tablet. Reagen yang ditambahkan pertama kali adalah asam molibdat, sodium bisulfat, dan asam sulfat. Penambahan reagen ini dilakukan karena kompleks silika-molibdat dan fosfat-molibdat terbentuk pada pH 1,2 . Untuk menghilangkan pengganggu fosfat-molibdat agar tidak ikut terukur maka ditambahkan reagen kedua dalam bentuk tablet asam sitrat. Kompleks molibdat kemudian direduksi dengan menggunakan reagen ketiga dalam bentuk tablet aminonaphtholsulfonic acid membentuk heteropoly berwarna biru dan diukur di panjang gelombang 815 nm

Pada penelitian ini untuk menghindari adanya gangguan dari H<sub>2</sub>S ketika dilakukan analisa silika dengan menggunakan spektrofotometer maka dilakukan blowing dan ditambahkan sulfide inhibitor.

### 3.1.3.2 Analisis ion $\text{Cl}^-$

Ion  $\text{Cl}^-$  dianalisa dengan menggunakan metode mohr dimana sampel dititrasi dengan menggunakan perak nitrat. Indikator yang digunakan adalah kalium kromat. Ion  $\text{Cl}^-$  akan bereaksi dengan perak nitrat membentuk endapan perak klorida yang berwarna putih. Titik akhir tercapai ketika larutan sampel berubah warna menjadi oranye pertanda perak nitrat sudah mulai bereaksi dengan kalium nitrat membentuk perak nitrat.

### 3.1.3.3 Analisa Kerak Silika

Kerak silika yang akan diukur dikeringkan terlebih dahulu. Kemudian kerak silika dihaluskan hingga berbentuk powder. Untuk analisa XRD dan XRF sampel ditekan dengan kekuatan tinggi hingga menjadi pelet. Setelah itu baru diukur. Untuk pengukuran SEM sampel langsung diukur.

### **3.1.4 Penentuan Perbandingan konsentrasi Minimum Asam Karbonat-Asam Poliakrilat**

Dari hasil analisa lab dan interpretasi data maka kita diharapkan kita dapat menentukan berapa perbandingan konsentrasi yang paling efektif menghambat pembentukan kerak. Selain itu perbandingannya juga harus minimum karena menyangkut biaya produksi karena pada perbandingan tertentu fungsi inhibisi akan stagnan sehingga sebanyak apapun ditambahkan tidak berpengaruh signifikan terhadap penghambatan pembentukan kerak.

## **3.2 Prosedur Penelitian**

Sampel air yang dianalisa adalah sampel brine di pipa uji pada sumur 7C dari keluaran separator V-154 dari lapangan uap (steam field) PT Geodipa energi Dleng.

### **3.2.1 Peralatan**

Peralatan yang digunakan adalah Spektrofotometer UV/VIS untuk analisa silika, buret digital hach untuk menganalisa ion klorida, labu ukur 1L, konduktometer, kertas pH, labu ukur, pipet ukur 1 ml, bulp, kertas saring Whatman 4, penyaring Teflon, botol sample PE, magnetic stirrer, beaker gelas, dan timbangan elektronik.

### **3.2.2 Bahan Kimia**

Bahan kimia yang dipakai adalah asam Poliakrilat (PAA), asam borat (BA), reagen 1 (sodium bisulfat, asam molibdat, asam sulfat), reagen 2 (asam sitrat), reagen 3 (aminonaphtholsulfonic acid), kalium kromat, perak nitrat 0,1 N, Aquades, dan Asam nitrat

### **3.2.3 Analisa Silika dengan menggunakan metode molibdosilikat**

Sampel yang telah diambil dipipet 1 ml kedalam labu ukur 1 L dan ditambahkan aquades hingga tanda batas. Sampel yang telah diencerkan dimasukkan kedalam 2 kuvet sebanyak 10 ml. Kemudian ditambahkan

reagen 1 sebanyak 12 tetes kedalam kedua kuvet dan didiamkan selama 4 menit. Setelah itu ditambahkan reagen 2 kedalam kuvet masing-masing sebanyak 1 tablet dan didiamkan selama 1 menit. Setelah itu dimasukkan reagen ketiga ke salah satu kuvet sebanyak 1 tablet dan didiamkan selama 1 menit. Lalu Kuvet pertama yang tidak ditambahkan reagen 3 diukur lebih dahulu dan dianggap sebagai blanko. Kuvet kedua yang ditambahkan reagen 3 dan telah berwarna biru diukur pada panjang gelombang 815 nm. Kemudian hasil pengukuran dari spektrofotometer dikalikan 1000 untuk mengetahui hasil sebenarnya

#### **3.2.4 Analisa Cl<sup>-</sup> dengan menggunakan metode mohr**

Brine sampel ditimbang kira-kira 1 gram dan ditambahkan aquades hingga 100 ml. Setelah itu sampel yang sudah ditambah aquades ditetaskan indikator kromat kira-kira 3 tetes atau hingga berwarna kuning. kemudian dilakukan titrasi dengan menggunakan titrator digital yang didalamnya berisi AgNO<sub>3</sub> 0,1 N hingga sampel berwarna oranye.

$$\text{konsentrasi Cl}^- = \frac{\text{angka hasil titrasi}}{0,2256 \times \text{berat sampel}} \dots\dots\dots (3.13)$$

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Injeksi Inhibitor Kerak Silika

Sebelum melakukan injeksi, maka harus diperhitungkan dahulu berapa kira-kira jumlah *brine* yang masuk ke pipa uji agar jumlah yang diinjeksi dapat homogen dengan *brine* disepanjang pipa uji. Agar dapat menghitung jumlah *brine* dalam pipa uji maka harus diketahui terlebih dahulu berapa presentase fluida yang berubah menjadi uap sehingga bisa kita ketahui berapa *brinenya*. Hasil perhitungan fraksi uap dan *brine* di sumur produksi dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Persentase Fraksi Uap dan Brine

WELL	WH (°C)	Steam (%)	Brine (%)	2 Fase (°C)	Steam (%)	brine (%)	Separator (°C)	Steam (%)	brine (%)
HCE-28A	229	16.4	83.6	188	24.4	25.6	185	24.97	75.03
HCE-28B	243	13.2	86.8	189	24.2	25.8	186	24.79	75.21
HCE-7A	230	16.2	84.8	189	24.2	25.8	185	24.97	75.03
HCE-7B	227	16.8	83.2	190	24.1	25.9	185	24.97	75.03
HCE-7C	253	10.8	89.2	190	24.1	25.9	186	24.79	75.21
HCE-31	270	6.2	93.8	191	23.89	26.11	186	24.79	75.21

Dari presentase fraksi *brine* diatas maka kita dapat menghitung berapa besar *brine* yang akan keluar dari separator. Menurut data produksi yang didapat ketika dilakukan penelitian diketahui jumlah produksi uap dan *brine* di sumur produksi 7C adalah 136,2 ton/jam. Dengan menggunakan Tabel 4.1 kita dapat mengetahui jumlah *brine* yang melalui pipa *brine* saja ditambah

dengan asumsi efisiensi 82% yaitu 84 ton/jam. Sebagian besar brine, sekitar 75%, masuk ke jalur pipa LCV menuju kolam penampungan dan hanya 25% yang mengalir ke pipa uji, yaitu 21 ton/jam. Pipa uji terbagi 2 dan diasumsikan aliran terbagi merata sehingga jumlah yang masuk ke jalur uji dan jalur blanko yaitu 10,5 Ton/Jam atau 175 Liter/menit.

Setelah mengetahui laju *brine* di pipa uji barulah bisa dilakukan perhitungan berapa besar inhibitor yang harus ditambahkan kedalam pipa agar homogen. Dengan menggunakan persamaan 3.8 sampai 3.13 maka kita dapat mengetahui jumlah PAA maupun BA yang harus dilarutkan kedalam kempu bervolume 1000 L untuk kebutuhan injeksi selama 5 hari pada pipa uji yang memiliki laju 175 Liter/menit.

Untuk injeksi inhibitor dengan konsentrasi PAA 10 ppm dan BA 8 ppm maka harus dicampurkan PAA 12,6 Liter dan 15,12 kg. Setelah itu ditambahkan air hingga volumenya 1000 L. Untuk injeksi inhibitor dengan konsentrasi PAA 15 ppm dan BA 5 ppm maka harus dicampurkan PAA 18,9 Liter dan 5,67 kg. Setelah itu ditambahkan air hingga volumenya 1000 L. Untuk injeksi inhibitor dengan konsentrasi PAA 20 ppm dan BA 3 ppm maka harus dicampurkan PAA 25,2 Liter dan 3,78 kg. Setelah itu ditambahkan air hingga volumenya 1000 L. Sehingga secara keseluruhan dibutuhkan PAA sebanyak 56.7 liter dan BA 24,57 kg



Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Inhibitor yang harus Ditambahkan

No	Inhibitor			
	Konsentrasi PAA (ppm)	Jumlah (L)	Konsentrasi BA	Jumlah (kg)
1	10	12.6	8	15.12
2	15	18.9	5	5.67
3	20	25.2	3	3.78
Jumlah Total		56.7		24.57

## 4.2 Hasil Analisa

### 4.2.1 Fluida Panasbumi Dieng

Hasil analisis fluida panasbumi Dieng tertera pada Tabel 4.3 dan Lampiran H Untuk tabel satu sampel diambil dari kondensat *brine* di beberapa kepala sumur produksi dan kemudian dilakukan homogenisasi. Setelah itu baru dilakukan analisa. Jadi nilai pada Tabel 4.3 merupakan nilai rerata.

Tabel 4.3 Kandungan beberapa unsur kimia dalam brine

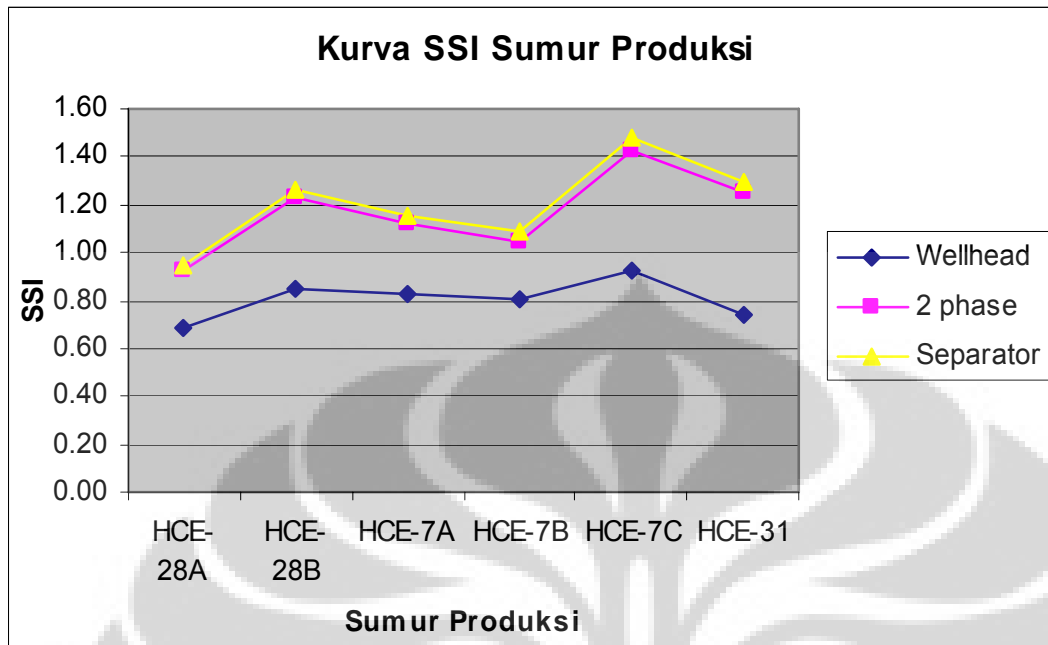
Kandungan	Kadar (ppm)
Cl <sup>-</sup>	13498
Fe	1,17
Na	376,02
K	867,18
Ca	423,64
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	61
TDS	19498

selain data diatas Fluida dieng juga mempunyai suhu reservoir hampir 300° C berdasarkan pengukuran dengan beberapa metode dan dapat dilihat di Tabel 4.4.

Komponen penting dalam mengetahui nilai SSI adalah suhu reservoir. Penelitian suhu reservoir untuk PLTP dieng telah dilakukan oleh Batan dan data ini yang akan dipakai sebagai acuan suhu reservoir<sup>[15]</sup>.

Setelah mengetahui data suhu reservoir maka dapat diketahui kemungkinan pembentukan kerak (scale) dengan cara menganalisa kandungan monomerik silika didalam brine. Jumlah monomerik silika dalam brine dapat di jadikan acuan untuk mengetahui jumlah silika didalam dua fase dan kepala sumur dengan menggunakan rumus fraksi molnya. Hasil dari data tersebut bisa dilihat di Lampiran H yang menggambarkan jumlah silika di brine masing-masing sumur produksi.

Hasil analisa kimia menunjukkan Jumlah monomerik silika terbanyak berada di brine sumur produksi 7C sebanyak 1252 ppm dan yang terkecil berada di brine sumur produksi 28A sebanyak 792 ppm. Bila dirujuk ke dua fase atau di kepala sumur maka konsentrasinya dalam ppm lebih sedikit lagi karena jumlah fluidanya lebih besar sedangkan jumlah silikanya tetap.



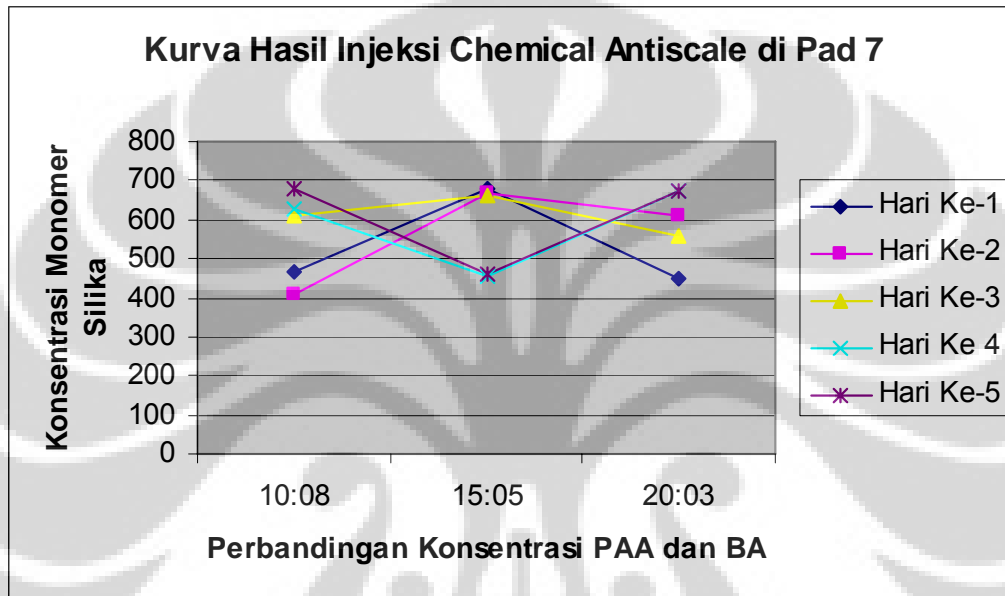
Gambar 4.1 Gambar kurva SSI Sumur Produksi

Ketika masuk ke dalam pipa 2 fase dan separator maka hanya di sumur 28-A saja yang tidak mengalami pembentukan kerak. Pada pipa 2 fase inilah pengkerakan paling besar terjadi karena temperature dan tekanan mulai turun sehingga kesetimbangan kimia terganggu dan silika mulai mengalami polimerisasi. Selain itu pada pipa 2 fase ini tidak ditambahkan asam sulfat sebagai inhibitor karena sangat berisiko menyebabkan korosi pada pipa yang mengakibatkan kebocoran.

Bila perhitungan tadi dikoreksi oleh penambahan parameter ion klorida maka nilai SSI nya akan berkali-kali lipat lebih besar. Penyebabnya karena klorida akan menyebabkan terjadinya efek *salting out* yaitu menurunnya kelarutan silika karena adanya larutan elektrolit seperti klorida yang mempermudah polimerisasi berjalan lebih cepat.

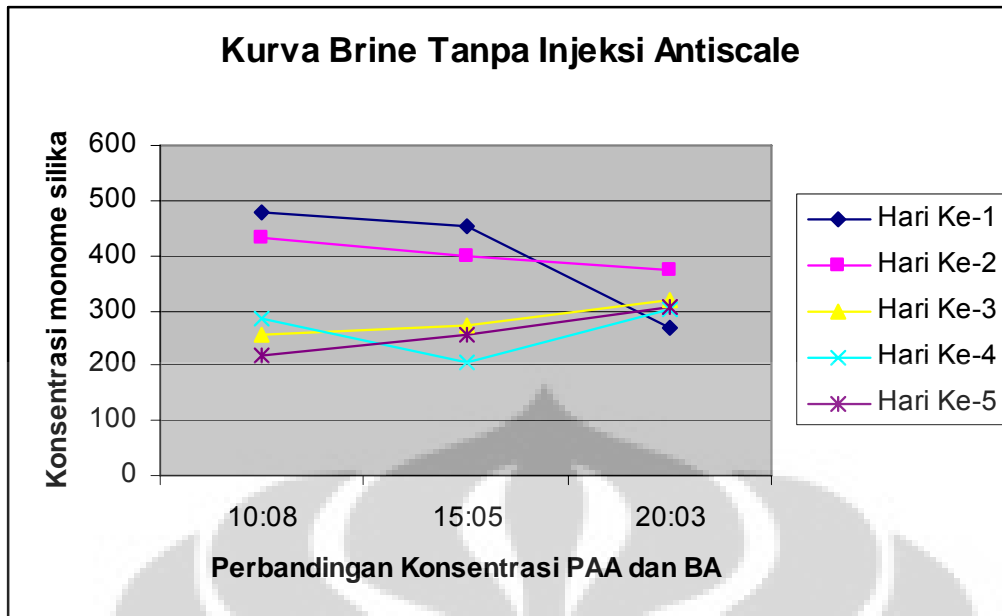
#### 4.2.2 Hasil Analisa injeksi Inhibitor Antiscale Silika Asam Poliakrilat (PAA) dan Asam Borat (BA) ke Jalur Pipa Brine

Dari hasil injeksi yang dilaksanakan selama kurang dari 3 bulan maka didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4.2 Kurva hasil injeksi chemical antiscale silika asam poliakrilat (PAA) dan asam borat (BA)

Selain kurva hasil injeksi juga didapatkan kurva tanpa penambahan bahan kimia PAA dan BA (kurva blank).



Gambar 4.3 Kurva blanko uji anti scale silika

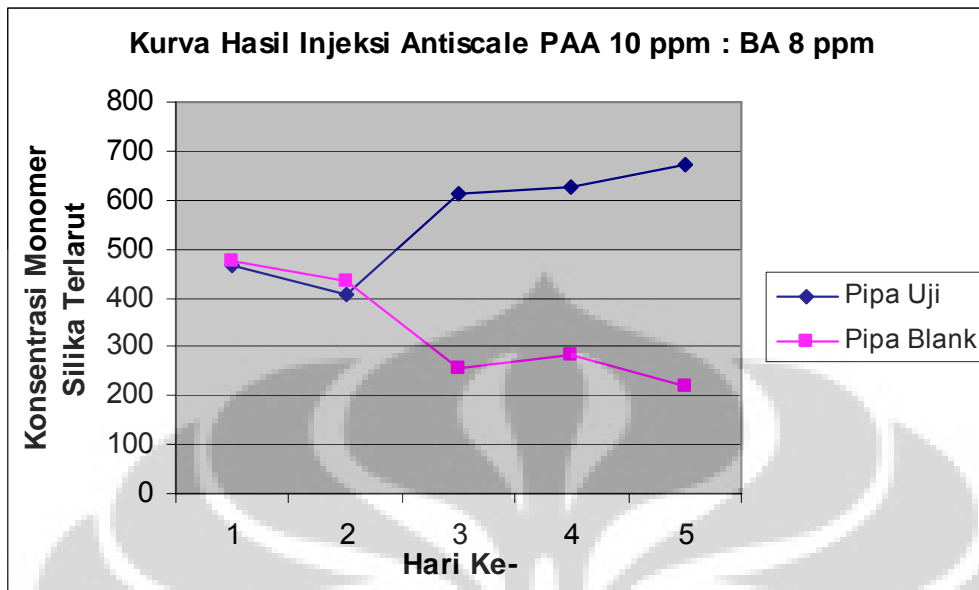
Pada perencanaan sebelumnya, perbandingan PAA dan BA tidaklah seperti ini. Pada perencanaan sebelumnya perbandingan antara PAA dan BA adalah 10:3, 10:5, 10:7, dan 10:10 yang akan ditambahkan selama 3 hari. Akan tetapi ternyata waktu 3 hari untuk mengamati pengaruh inhibitor *silica scale*-nya dikhawatirkan tidak cukup. Oleh karena itu dilakukan pengamatan selama kurang lebih 5 hari. Sedangkan pengurangan parameter dari 4 menjadi 3 karena khawatir pipa ujinya akan tertutup oleh kerak silika sebelum penelitian selesai. Perubahan konsentrasi parameter lebih disebabkan karena ternyata sulit melarutkan asam borat dalam jumlah besar sekaligus (kira-kira 15 kg) sehingga konsentrasinya dikurangi agar lebih mudah membuat larutannya. Selain itu konsentrasi PAA dibuat selalu lebih besar karena lebih mudah larut dan toksisitasnya bagi lingkungan lebih kecil.

Injeksi dilakukan di pipa uji yang terhubung langsung dengan sistem operasi lapangan sehingga perubahan-perubahan yang terjadi di lapangan

langsung berpengaruh terhadap penelitian yang dilakukan. Selama dilakukan injeksi sistem tetap dalam keadaan normal atau tidak dilakukan *shutdown*.

Sebagai pembandingan bagi hasil injeksi inhibitor maka juga dilakukan pengambilan sampel di pipa yang tidak ditambahkan *chemical* antiscalant. Metode pengambilan sampel dilakukan sama dengan metode pengambilan sampel setelah injeksi inhibitor dan parameter yang dianalisa juga sama. Setelah dilakukan analisa maka didapat hasil seperti terlihat di Gambar 4.4. Hasil analisa silika terhadap brine tanpa injeksi antiscalant memperlihatkan untuk ketiga perbandingan konsentrasi dan selama hari ke-1 sampai dengan hari ke-5 cenderung stabil. Hal ini menunjukkan tidak adanya kontaminasi dari bahan kimia antiscalant dan dianggap layak sebagai parameter pembandingan. Pada parameter yang pertama terdapat dua hari yang hasil analisa silikanya tidak ada karena pada waktu itu memang belum dilakukan sampling pada titik sampling tersebut tetapi dilakukan sampling pada titik sampling yang lain dimana hasilnya kurang valid.

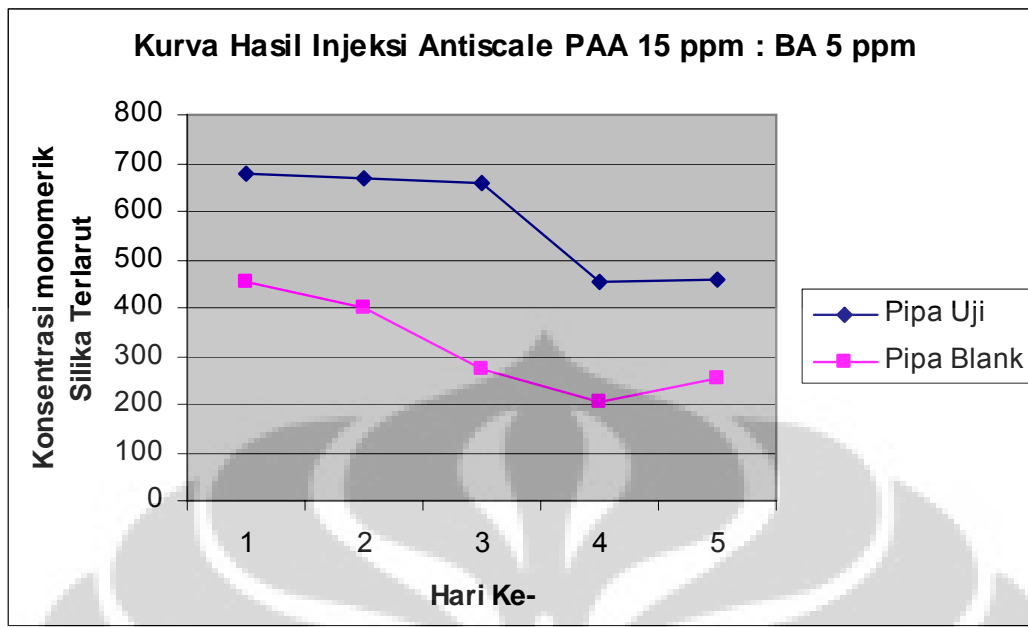
Pada parameter yang pertama yaitu antiscalant dengan komposisi perbandingan PAA dan BA adalah 10:8 (dalam ppm) didapat hasil sebagai berikut:



Gambar 4.4 Kurva hasil injeksi chemical antiscale silika asam poliakrilat (PAA) dan asam borat (BA) 10 ppm:8 ppm

Dari Gambar 4.4 terlihat bahwa pada kurva pipa uji jumlah monomerik silika terlarut cenderung meningkat setiap harinya. Hal ini dapat dijelaskan karena pencampuran antara inhibitor dan brine semakin homogen setiap harinya sehingga kerja fungsi inhibisinya semakin bagus.

Pada parameter yang Kedua yaitu antiscale dengan komposisi perbandingan PAA dan BA adalah 15:3 (dalam ppm) didapat hasil sebagai berikut:

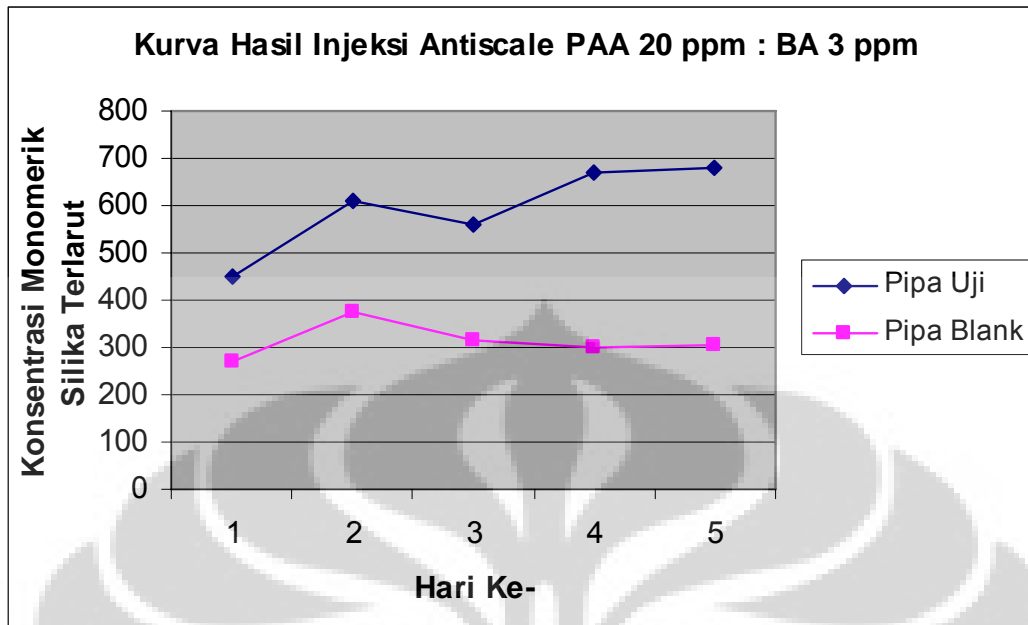


Gambar 4.5 Kurva hasil injeksi chemical antiscale silika asam poliakrilat (PAA) dan asam borat (BA) 15 ppm:5 ppm

Dari kurva diatas terlihat terjadi penurunan konsentrasi monomer silika terlarut pada sampel brinie yang sudah diinjeksi inhibitor. Penyebabnya adalah adanya penurunan tekanan pada hari ke-4 dan ke-5 pada separator yang berimbas pada penurunan kelarutan silika didalam brine sehingga ketika brine sampai pada pipa uji jumlah monomer silika terlarutnya sudah berkurang. Hal ini juga terlihat pada jumlah monomer silika terlarut di sampel brine tanpa injeksi inhibitor yang mengalami penurunan. Walaupun keduanya sama-sama turun tapi jumlah monomer silika terlarut pada pipa uji tetap lebih besar daripada jumlah monomer silika terlarut di pipa blank. Data penurunan tekanan dapat dilihat di lampiran B

Pada parameter yang terakhir yaitu antiscale dengan komposisi perbandingan PAA dan BA adalah 20:3 (dalam ppm) didapat hasil sebagai berikut:





Gambar 4.6 Kurva hasil injeksi chemical antiscale (PAA) dan (BA) 20 ppm:3ppm

Dari Gambar 4.6 terlihat kecenderungan yang sama dengan kurva pada Gambar 4.4 dimana hasil analisa monomer silika pada sampel pipa blank menunjukkan hasil yang stabil. Sedangkan untuk hasil analisa monomer silika terlarut pada pipa uji menunjukkan kenaikan setiap harinya. Penyebab hal ini juga sama dengan Gambar 4.3 yaitu semakin lama pencampuran antara inhibitor dan brine semakin baik sehingga kinerjanya semakin bagus. Selain itu pada dua hari terakhir yaitu hari ke-4 dan hari ke-5 data menunjukkan jumlah monomer silika terlarut pada sampel pipa uji lebih besar daripada jumlah monomer silika terlarut dalam pipa blank.

### 4.2.3 Hasil Analisa Kerak Silika

Kerak silika yang dianalisa diambil dari sistem panasbumi yang sama sehingga dianggap mewakili kerak yang terbentuk. Kerak silika diperoleh dari PT Geodipa Energi dalam bentuk powder kering.

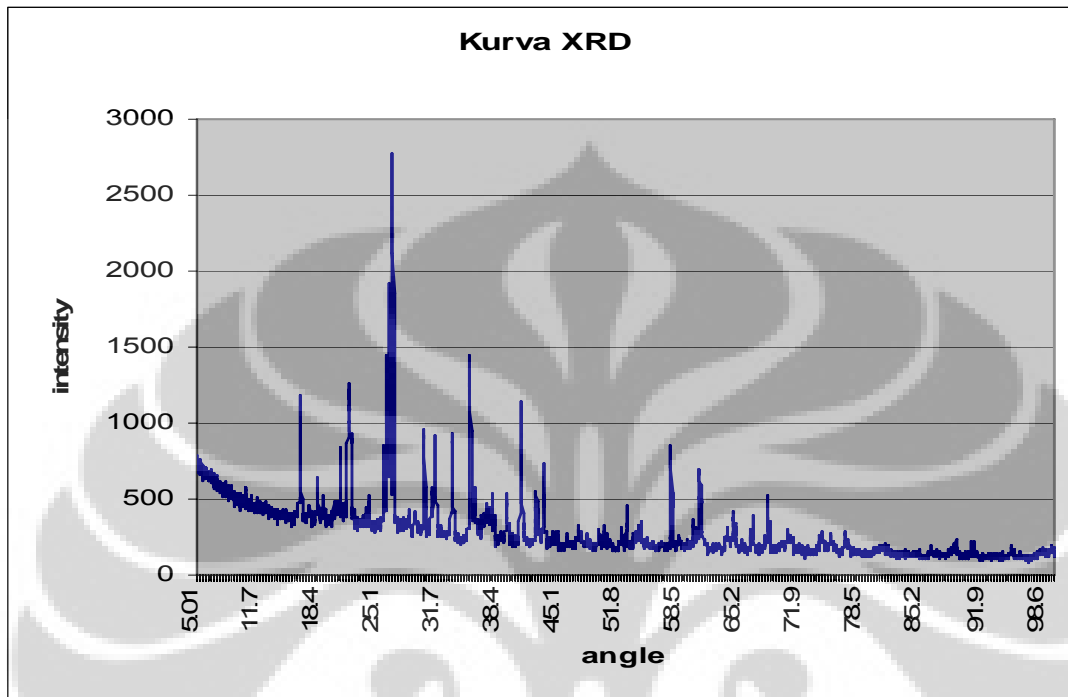
Sampel kemudian dianalisa menggunakan XRF, XRD, dan SEM. Untuk XRF dilakukan di lab ilmu material di Salemba sedangkan untuk XRD dan SEM dilakukan di Jepang.

Pertama sampel di ukur dengna menggunakan XRF untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat didalam powder silika dan didapat hasil:

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Powder Kerak silika Menggunakan XRF

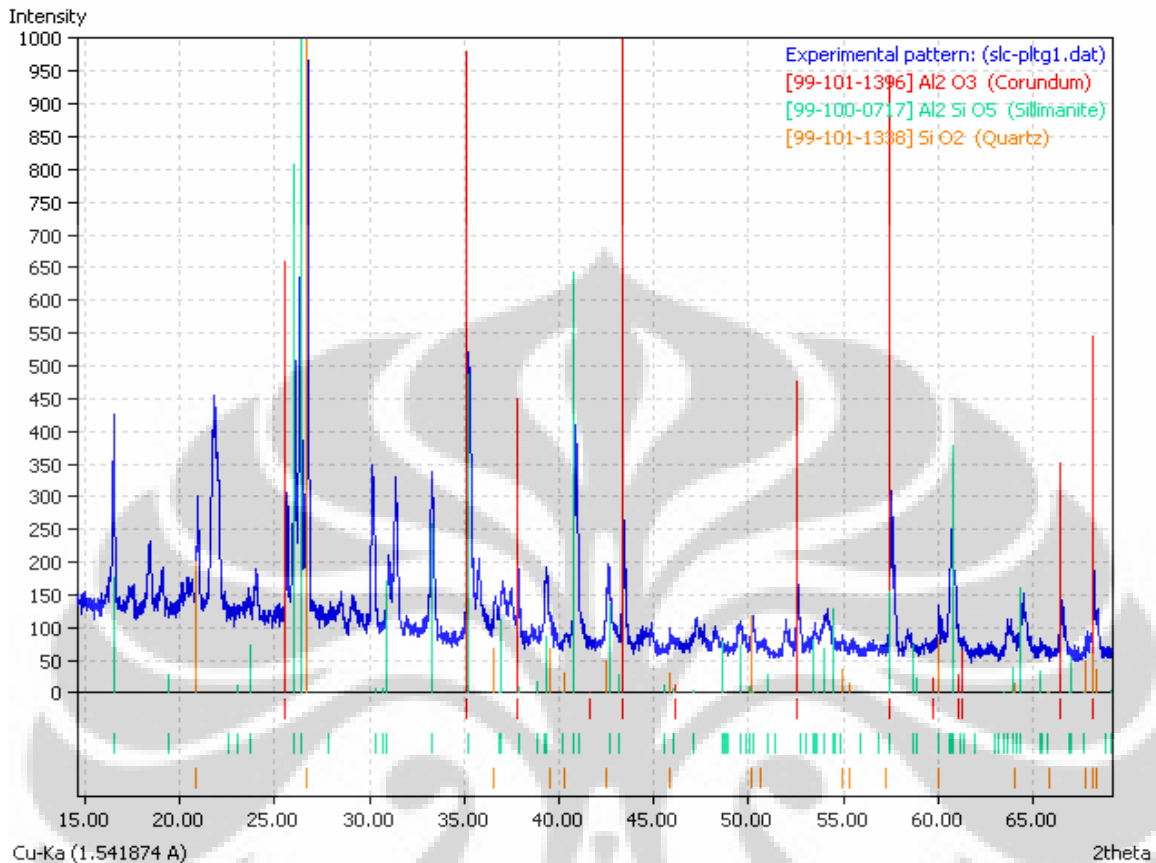
NO	Atom	Weight (%)
1	Al	35.4848
2	Si	27.2251
3	K	1.4736
4	Ca	25.8009
5	Ti	3.9139
6	Cr	0.1779
7	Fe	5.5405
8	Zr	0.3833

Sedangkan menggunakan pengukuran sampel XRD maka didapat hasil sebagai berikut:



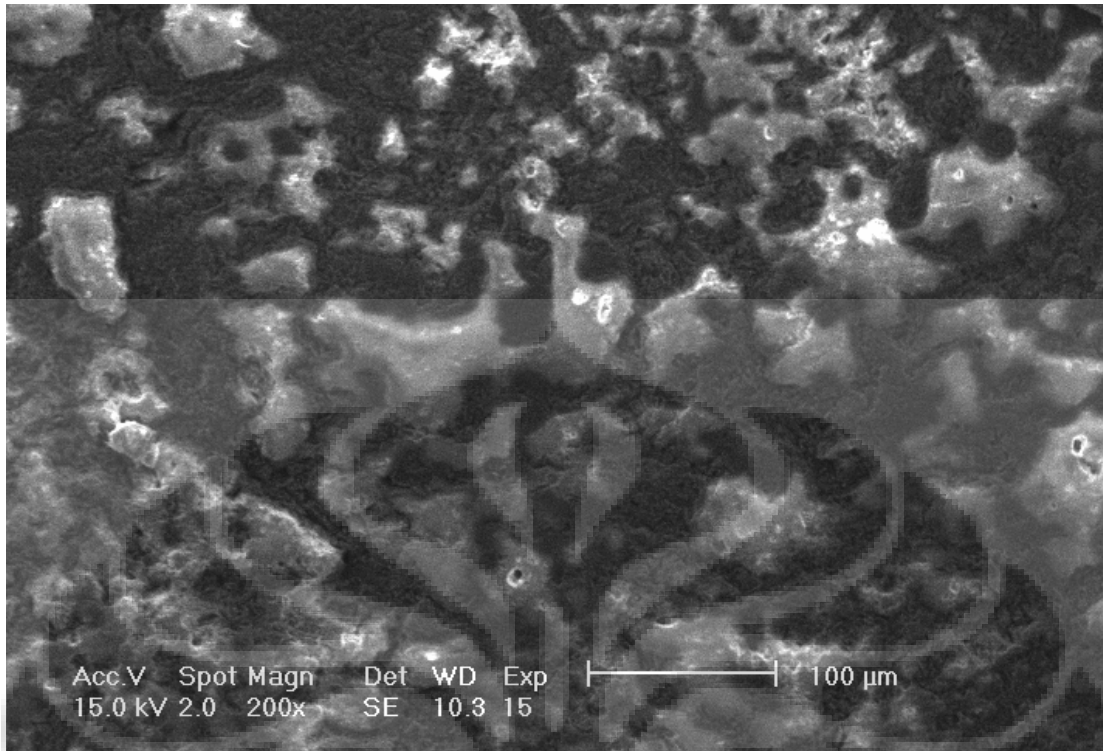
Gambar 4.7 Hasil Pengukuran Powder Kerak Silika Menggunakan XRD

Untuk mengetahui senyawa apa saja yang ada dalam sampel maka data XRD dianalisa dengan berdasarkan data dari XRF. Analisa data XRD menggunakan software Match!. Dari analisa menggunakan software tersebut maka diketahui bahwa sampel mempunyai kandungan silimanite ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ), corundum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan sedikit Quartz ( $\text{SiO}_2$ ). Sedangkan Ca yang terdeteksi pada pengukuran XRF kemungkinan besar merupakan unsur lain yang spektranya overlap dengan spektra Ca skarena dari data XRD tidak ada kristal yang mengandung Ca yang cocok dan batuan reservoarnya merupakan andesit yang tidak mengandung Ca secara dominan.

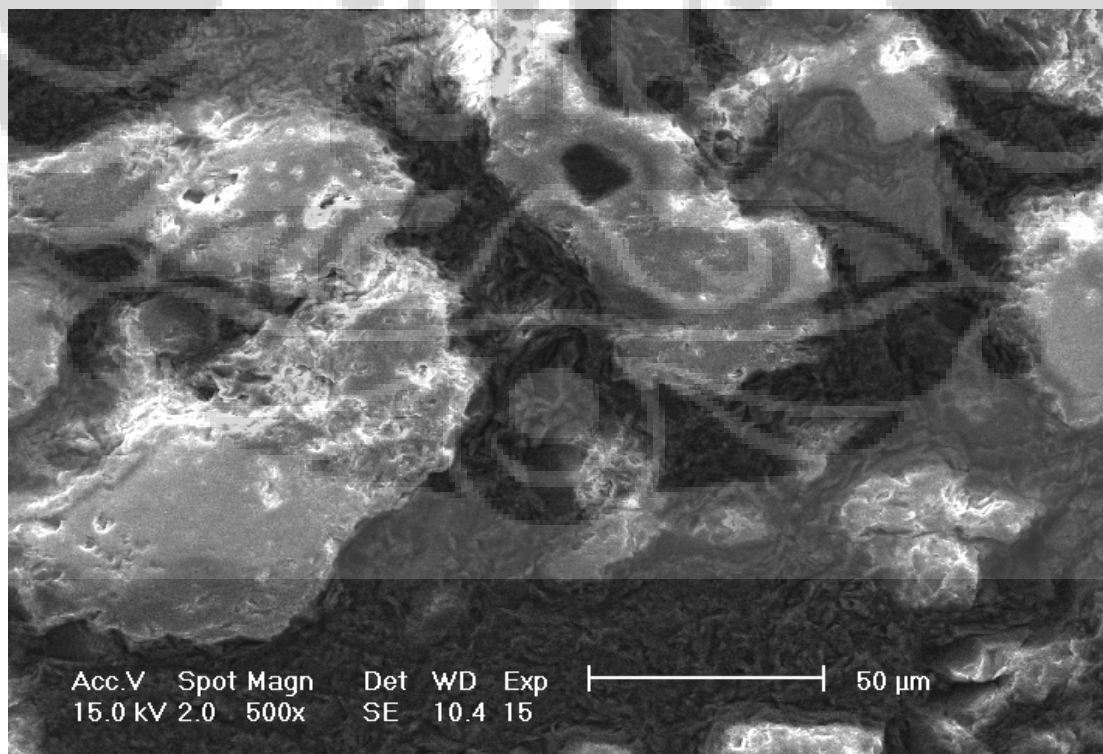


Gambar 4.8 Hasil analisa kualitatif data XRD menggunakan software Match!

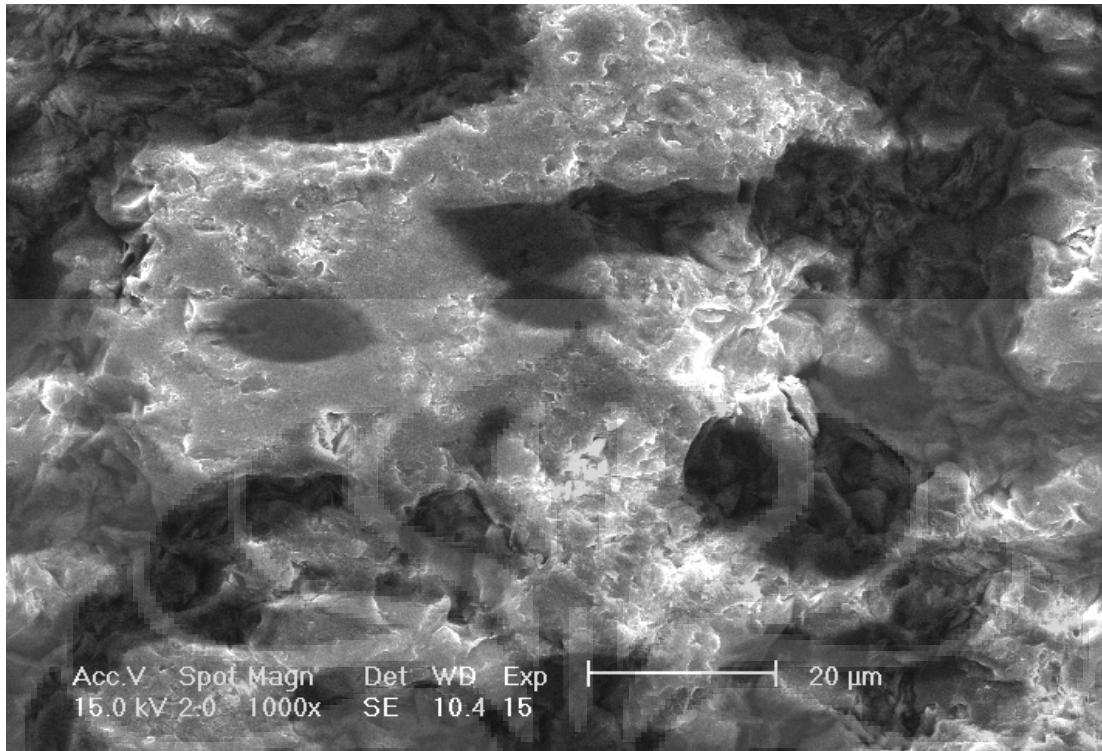
Data dari XRF dan XRD ini dikuatkan dengan data dari SEM EDAX. Pada Gambar 4.9 ada tiga bagian yang dilakukan analisa EDAX yaitu bagian yang terang, yang berwarna abu-abu dan yang gelap. Pada Gambar 4.9.A, 4.9.B, dan 4.9.C merupakan bidang yang sama cuma dengan perbesaran yang berbeda.



Gambar 4.9.A Sampel Kerak Silika Perbesaran 200x dengan jarak 100  $\mu\text{m}$   
wd=10.3 mm EHT=15 kV spot 2.0



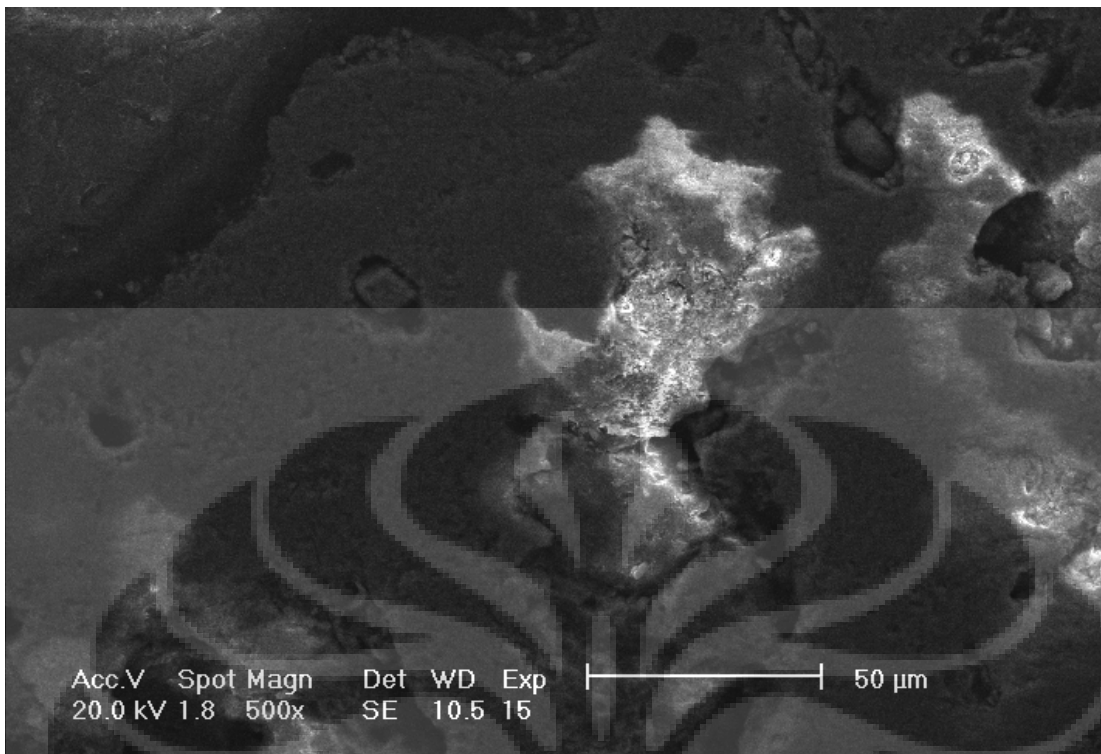
Gambar 4.9.B Sampel Kerak Silika Perbesaran 500x dengan jarak 50  $\mu\text{m}$   
wd=10.4 mm EHT=15 kV spot 2.0



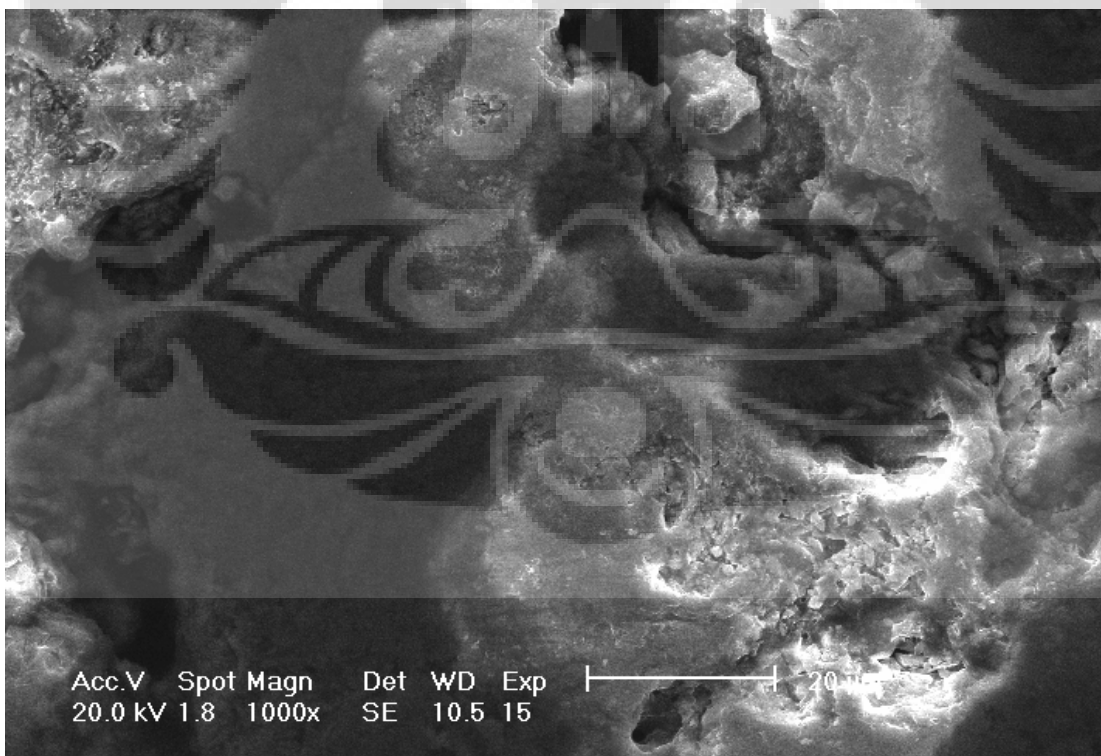
Gambar 4.9.C Sampel Kerak Silika Perbesaran 1000x dengan jarak 20  $\mu\text{m}$   
wd=10.4 mm EHT=15 kV spot 2.0

Untuk spot 2.0, setelah dilakukan EDAX, pada Gambar 4.9.A, B, dan C yang bertekstur terang diketahui mengandung Si dan O sehingga kemungkinan merupakan quartz ( $\text{SiO}_2$ ). Sedangkan untuk spot yang sama pada gambar yang bertekstur gelap diketahui mengandung Si, Al, O, dan sedikit Na.

Kemungkinan besar senyawanya adalah silimanite ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ). Sedangkan untuk spot yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.9. D, 4.9.E, dan 4.9.F.

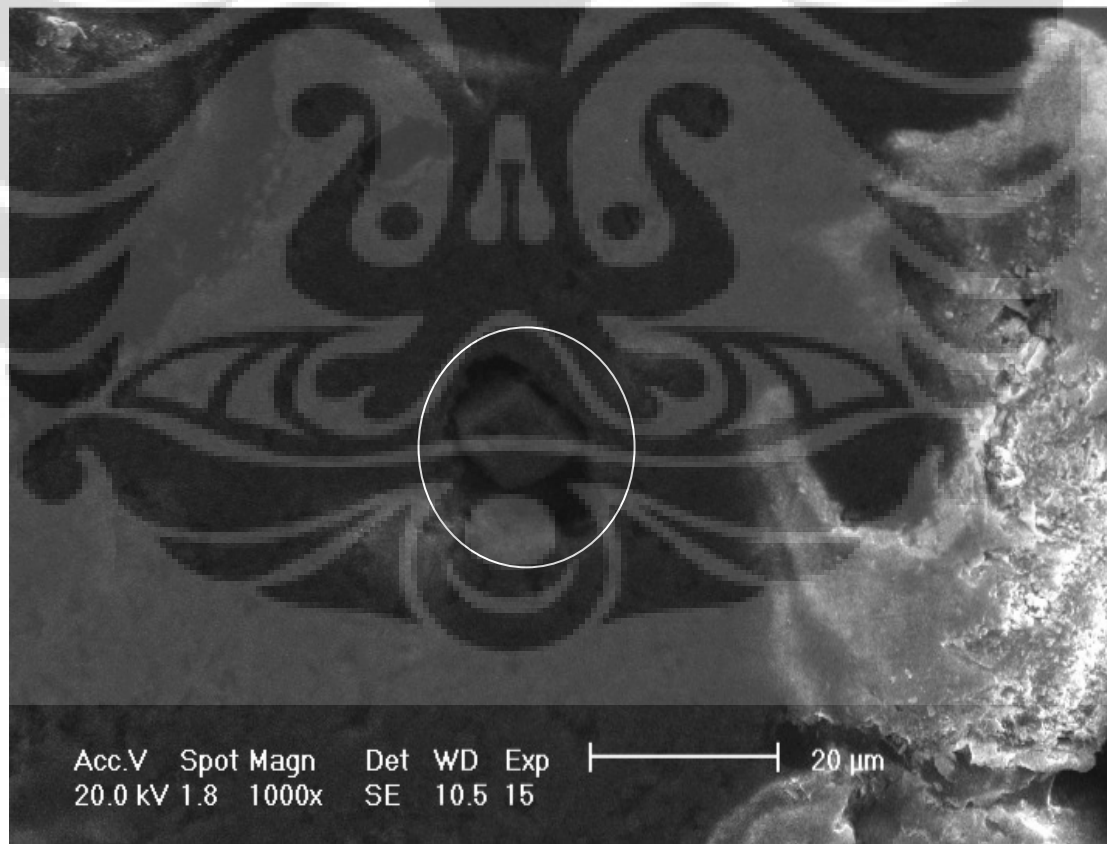


Gambar 4.9.D Sampel Kerak Silika Perbesaran 500x dengan jarak 50 μm  
wd=10.5 mm EHT=20 kV spot 1.8



Gambar 4.9.E Sampel Kerak Silika Perbesaran 1000x dengan jarak 20 μm  
wd=10.5 mm EHT=20 kV spot 1.8

Pada Gambar 4.9.D dan 4.9. E terbagi menjadi 3 tekstur warna, yaitu abu-abu, gelap dan terang. Untuk yang bertekstur terang ternyata mengandung unsur Si, Al, dan O yang dominan. Berdasarkan data XRD dan sebelumnya maka bisa diduga kandungan kristal silimanite ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ). Sedangkan yang bertekstur gelap diketahui juga mengandung unsur yang sama dengan yang bertekstur terang yaitu Si, Al, O dan diduga mengandung kristal silimanite ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ). Untuk tekstur yang terakhir yaitu abu-abu diketahui mengandung unsur yang sama juga yaitu Si, Al, O yang juga diduga adalah silimanite ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ).



Gambar 4.9.F Sampel Kerak Silika Perbesaran 1000x dengan jarak 20  $\mu\text{m}$  wd=10.5 mm EHT=20 kV spot 1.8



Pada gambar kristal yang dilingkari diketahui mengandung unsur Si dan O yang dominan dan diduga merupakan quartz ( $\text{SiO}_2$ )

### 4.3 Interpretasi Data Injeksi Inhibitor Kimia Di Pipa Uji

#### 4.3.1 Potensi Pembentukan Kerak Di Sumur Produksi

Berdasarkan hasil analisa silika di jalur brine maka kita dapat menelusuri kandungan silika yang terdapat di dua fase maupun di kepala sumur. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mengetahui fraksi mol *liquid* dan *steam* yang terkandung dalam fluida panasbumi dieng yang ditentukan dari persamaan 3.1 dan 3.2

Entalpi cair dari reservoir diperoleh dari tabel uap (*steam table*) dengan menggunakan data pengukuran tekanan tiap sumur. Sedangkan entalpi cair dan uap separator diperoleh dari tabel uap dengan menggunakan data tekanan separator saat pengambilan sampel.

Dari hasil perhitungan SSI pada Gambar 4.1 yang dilakukan maka dapat diketahui bahwa di semua kepala sumur produksi belum terjadi pembentukan kerak, dengan SSI dibawah 1, karena temperatur di kepala sumur yang tidak berbeda jauh dengan di reservoir sehingga kesetimbangan silika dengan fluidanya masih terjaga.

Ketika masuk ke dalam pipa 2 fase dan separator maka hanya di sumur 28-A saja yang tidak mengalami pembentukan kerak. Pada pipa 2 fase inilah pengkerakan paling besar terjadi karena temperature dan tekanan

mulai turun sehingga kesetimbangan kimia terganggu dan silika mulai mengalami polimerisasi. Selain itu pada pipa 2 fase ini tidak ditambahkan asam sulfat sebagai inhibitor karena sangat berisiko menyebabkan korosi pada pipa sehingga mengakibatkan kebocoran.

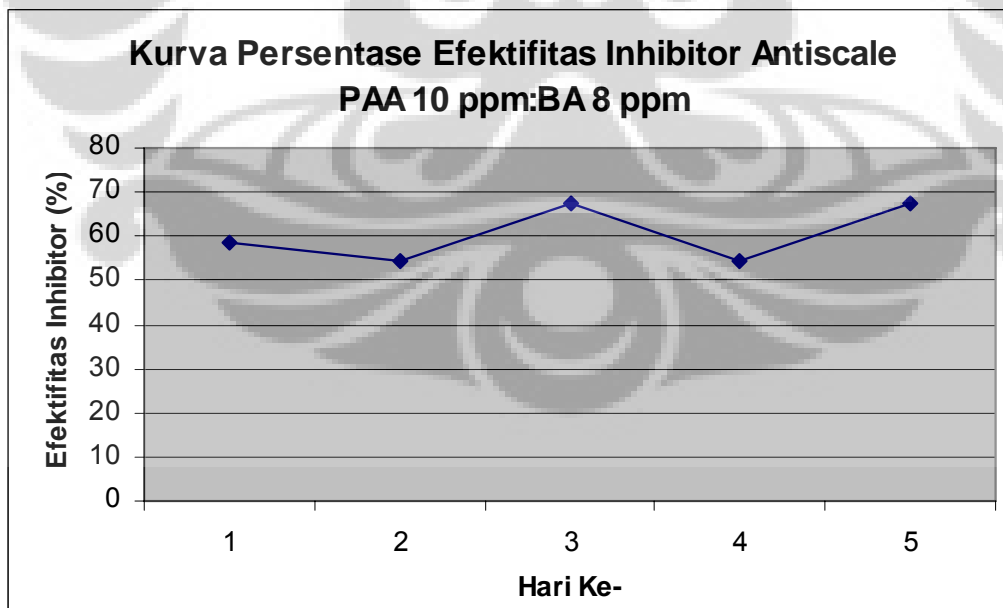
Bila perhitungan pada persamaan 3.7 dikoreksi oleh penambahan parameter ion klorida dengan menggunakan persamaan 3.5 dan 3.6 maka nilai SSI nya akan berkali-kali lipat lebih besar. Penyebabnya karena klorida akan menyebabkan terjadinya efek *salting out* yaitu menurunnya kelarutan silika karena adanya larutan elektrolit seperti klorida yang membuat polimerisasi berjalan lebih cepat.

#### **4.3.2 Injeksi Inhibitor Antiscale Silika Asam Poliakrilat (PAA) : Asam Borat (BA) ke Jalur Pipa Brine**

Pada penelitian di sistem secara langsung dengan parameter hidrodinamik di lapangan panasbumi PT geodipa Energi unit dieng paduan inhibitor asam poliakrilat (PAA) dan asam borat (BA) dibandingkan langsung dengan brine yang tidak diinjeksi inhibitor (blanko). Bila dibandingkan dengan blanko ternyata perpaduan asam borat dan asam poliakrilat lebih baik dalam memperlambat pembentukan kerak silika karena mampu menambah kelarutan silika 33% hingga 55%. Hal yang berbeda terjadi ketika dilakukan tes di laboratorium dimana kemampuan inhibisinya sekitar 71,2%<sup>[15]</sup>. Penyebab utama dari berbedanya kemampuan inhibisi paduan tersebut adalah kondisi lapangan dimana sistem didalam pipa uji terdapat laju air yang

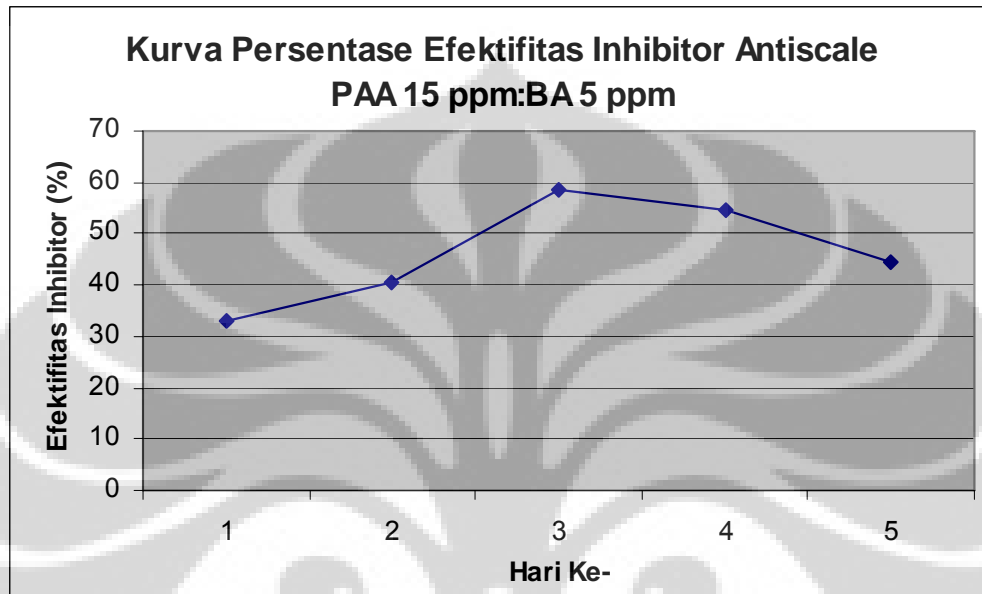
besar atau hidrodinamis sedangkan di laboratorium hidrostatis atau tidak ada aliran. Laju air yang besar diperkirakan mampu mempersulit kehomogenan antara inhibitor dan brine ditambah lagi dengan agak sulitnya melarutkan asam borat dalam jumlah besar sekaligus. Hal ini tentu saja akan mengurangi kemampuan inhibisi dari inhibitor. Selain itu perbedaan konsentrasi juga merupakan efek yang harus diperhitungkan. Perbedaan yang lain adalah pH. Ketika diuji di lab kita bisa dengan mudah mengatur pH sesuai dengan yang diinginkan tetapi ketika di uji di lapangan maka pH harus mengikuti standar operasi yang berlaku.

Dengan asumsi bahwa kehomogenan tertinggi didapat pada hari terakhir maka pada perlakuan pertama dimana inhibitor yang ditambahkan mempunyai konsentrasi perbandingan PAA 10 ppm : BA 8 ppm mempunyai efektifitas menghambat pembentukan kerak terhadap blanko sebesar 67%



Gambar 4.10 Kurva hasil injeksi chemical antiscale (PAA) dan (BA) 10 ppm:8 ppm

Sedangkan pada perlakuan kedua dengan mengubah komposisi perbandingan antara PAA 15 ppm: BA 5 ppm mempunyai keefektifan sebesar 44%.

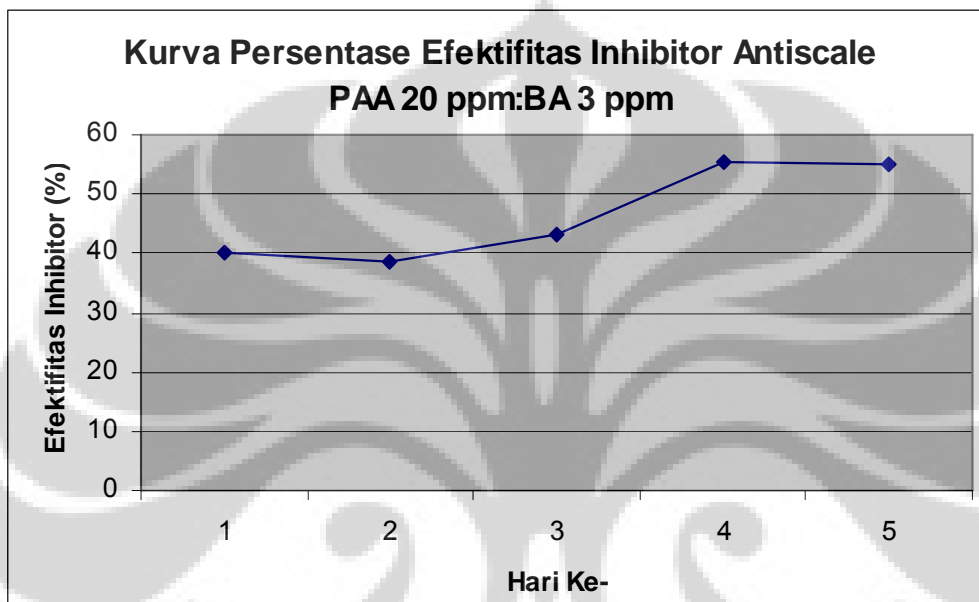


Gambar 4.11 Kurva hasil injeksi chemical antiscale (PAA) dan (BA) 15 ppm:5 ppm

Turun naiknya kurva pada perlakuan kedua ini karena pada saat itu terutama di hari ke 4 dan ke 5 terjadi penurunan tekanan kepala sumur karena kolam penampungan sementara penuh sehingga debitnya dikurangi yang berimbas pada menurunnya tekanan di separator sehingga potensi pembentukan kerak meningkat. Walaupun begitu hal ini juga berpengaruh terhadap blanko sehingga bila dihitung dari efektifitas tetap naik bila dibandingkan dengan hari ke-1 dan ke-2.

Pada perlakuan terakhir dengan perbandingan konsentrasi antara PAA 20 ppm: BA 3 ppm mempunyai efektifitas sebesar 54,9%.

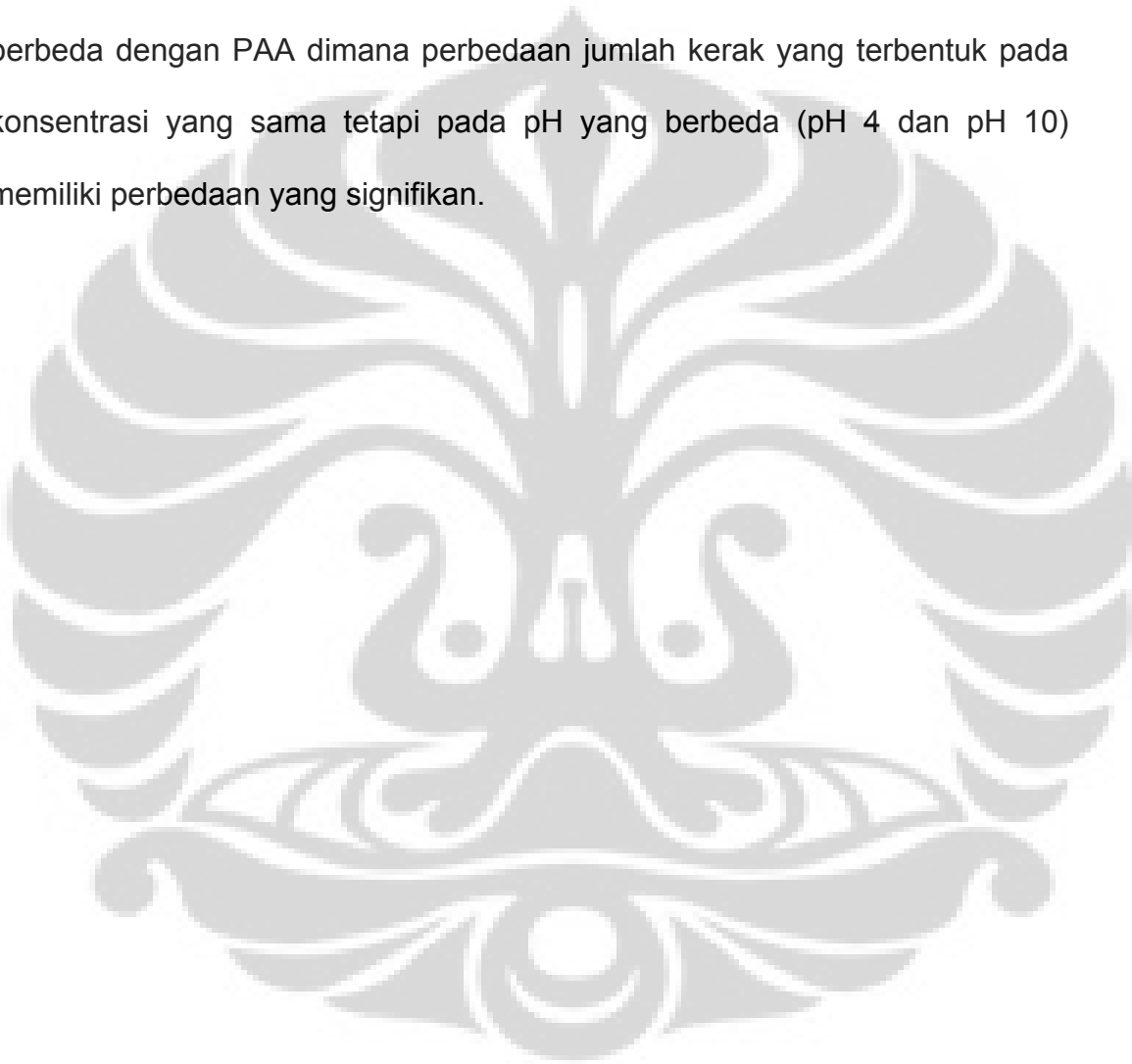
Dari segi keefektifan kerja antiscalant maka perlakuan terakhir ini lebih baik dibandingkan perlakuan yang kedua walaupun masih dibawah perlakuan yang pertama.



Gambar 4.12 Kurva hasil injeksi chemical antiscalant (PAA) dan (BA) 20 ppm:3 ppm

Dari hasil variasi perbandingan antara PAA dan BA terlihat bahwa yang memiliki keefektifan tertinggi dalam memperlambat pembentukan kerak adalah pada perlakuan yang memiliki perbandingan konsentrasi PAA 10 ppm : BA 8 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi PAA tidak menambah keefektifan fungsi inhibisi. Tetapi sebaliknya penurunan konsentrasi BA membuat fungsi inhibisi menurun. Hal ini sangat mungkin disebabkan karena kinerja inhibisi BA tidak dipengaruhi oleh pH sehingga ketika terjadi fluktuasi pH di sistem operasi maka kinerjanya tetap stabil. Hal

ini dibuktikan pada penelitian terdahulu dimana dengan menggunakan parameter hidrodinamis ternyata pH tidak mempengaruhi kinerja BA terbukti perbedaan jumlah kerak yang terbentuk pada konsentrasi yang sama tetapi pada pH yang berbeda (pH 4 dan pH 10) tidak berbeda jauh. Hal ini sangat berbeda dengan PAA dimana perbedaan jumlah kerak yang terbentuk pada konsentrasi yang sama tetapi pada pH yang berbeda (pH 4 dan pH 10) memiliki perbedaan yang signifikan.



## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan perlakuan injeksi antiscale yang mempunyai komposisi perbandingan PAA (Polyacrylic acid) dan BA (boric acid) 10:8, 15:5, dan 20:3 (semuanya dalam ppm) maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semua sumur produksi, kecuali 28-A, berpotensi mengalami pembentukan kerak di jalur pipa brine
2. Komposisi inhibitor antiscale yang memiliki kemampuan untuk menghambat polimerisasi silika adalah 15 ppm PAA dan 5 ppm BA
3. Penurunan tekanan dan suhu sangat mempengaruhi kelarutan silika dan pembentukan polimer silika dalam brine

### **5.2 SARAN**

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui apakah dengan ditambahkan rasio perbandingan PAA dan BA kelarutan monomerik silika akan terus naik atau stagnan.
2. Kondisi lapangan sangat mempengaruhi kinerja inhibitor dalam menghambat pembentukan polimer silika
4. Untuk senyawa borat, agar mudah larut, sebaiknya digunakan garamnya

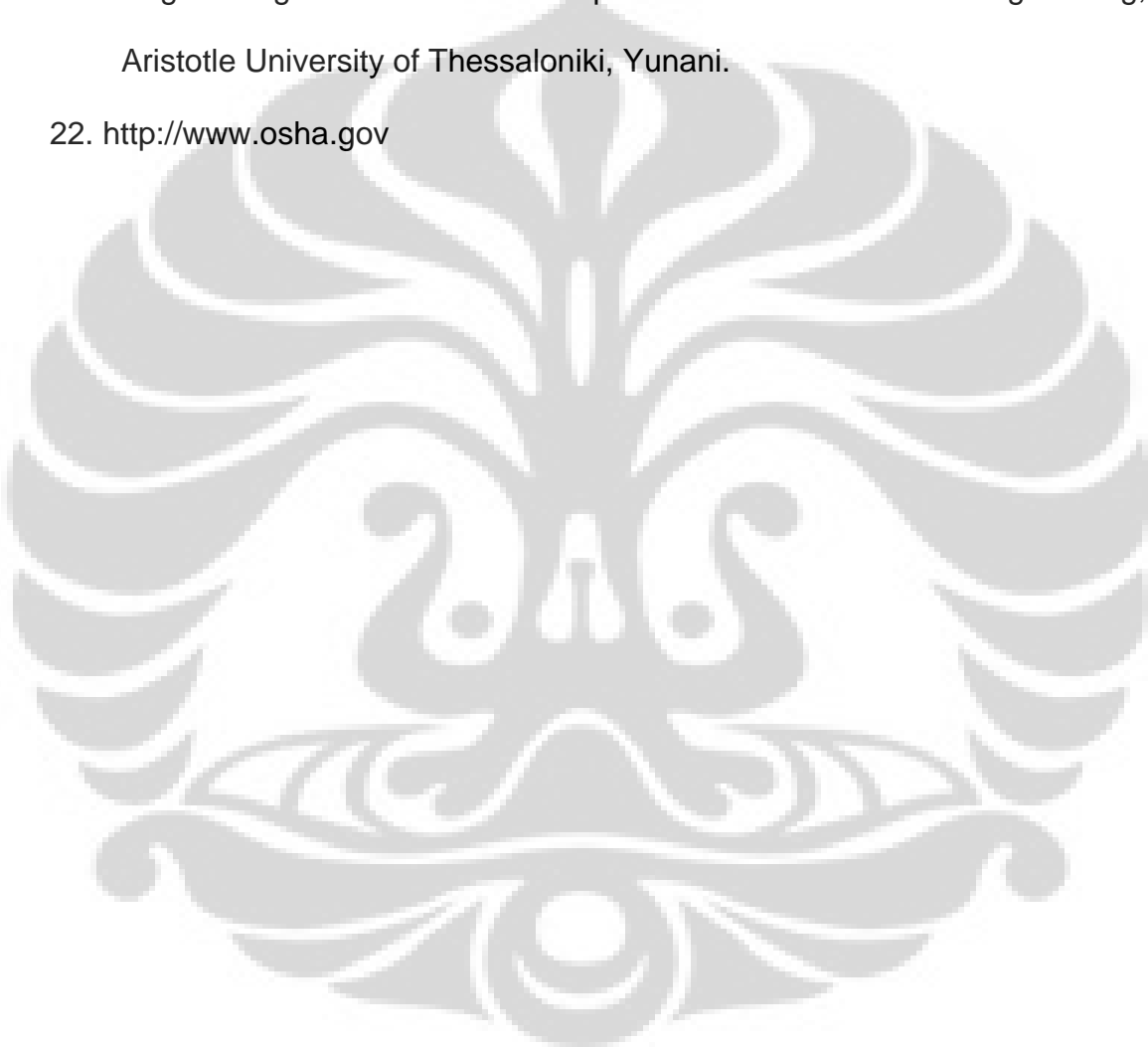
## DAFTAR ACUAN

1. <http://www.eia.doe.gov>
2. [http://thegeothermalenergyblog.blogspot.com/2007\\_05\\_01\\_archive\\_htm/](http://thegeothermalenergyblog.blogspot.com/2007_05_01_archive_htm/)
3. <http://www.geothermal.wordpress.com/tag/berita-geothrmal>
4. <http://www.osha.gov>
5. Kompas Cyber Media. *PLTP Dieng Ibarat Buah Simalakama*. 2002
6. <http://www.epa.gov>
7. Brown, Kevin.,Dunstall, kevin. *Silica Scaling Under Controlled Hydrodynamic Conditions*.Proceedings World Geothermal Congress 2000. Japan, 2000
8. Ciptadi, sapto dan patangke, Salvius. *Evaluasi Potensi Silika Scaling Pada Pipa Produksi Lapangan Panas Bumi Lahendong-Sulawesi Utara*. Proceeding Of The 5th INAGA Annual Scientific Conference & Exhibitions. Yogyakarta, March 7 – 10, 2001
9. Komariah, Belgis. *Pencegahan Pengerakan Silika Pada Fluida Panas Bumi Dengan Menggunakan Senyawa Asam Akrilamida Metil Propan Sulfonat*. Departemen Kimia. Universitas Indonesia, Depok 2006.
10. Andhika, Muhammad. *Studi Pengaruh pH dan Penggunaan inhibitor terhadap pembentukan kerak silika pada Sampel Air Panas Bumi Lahendong*. Departemen Kimia. Universitas Indonesia, Depok. 2005.



11. Amjad, Z. A. *New Antifoulant for Controlling Silica Fouling in Reverse Osmosis System*. World Congress on Desalination and Water Reuse, Madrid. 1997.
12. Chan, S.H. *A Review on Solubility And Polymerization of Silica*. Geothermics, Vol 8, No.1/2, pp.49-56. Great Britain, 1989
13. Fournier, Robert and Rowe, Jack. *The solubility of amorphous Silica in water at high temperatures and high pressures*. American Mineralogist, Volume 62, pages 1052-1056, 1977
14. Edward, F.W. *Geothermal Energy Utilization*. John Wiley & Sons, California, 1977.
15. Abidin, Zaenal dan Prasetio, Rasi . *Pencegahan Silica Scaling Dalam Fluida Panas Bumi*. Laporan Teknis PATIR Batan, 2006.
16. Mastuti, Sri. *Studi Interaksi Benih Kerak Silika dengan Poli Akrilat, Kombinasi Asam Borat dengan Poli Akrilat, Ion  $Al^{3+}$  dan  $Fe^{3+}$  pada Sampel Air Panas Bumi*. Departemen Kimia. Universitas Indonesia, Depok 2006.
17. Meliana. *Studi Pencegahan Pengerakan Silika pada Sistem Geotermal dengan Menggunakan Inhibitor Asam Borat, Asam Maleat dan Pengaruh Logam Fe dan Al*. Departemen Kimia. Universitas Indonesia, Depok 2006
18. Abidin, Zaenal. *Karakterisasi Reservoir Panasbumi Untuk Manajemen Lapangan Uap Di Lapangan Kamojang Jawa Barat*. FMIPA UGM, 2003

19. DiPippo, Ronald. G. *Geothermal Power Plants*. Elsevier Advanced Technology. Oxford UK.2005
20. [http://en.wikipedia.org/wiki/Total\\_dissolved\\_solids](http://en.wikipedia.org/wiki/Total_dissolved_solids)
21. Andristos, N. *Scale Formation in Geothermal Plants*. Chemical Process Engineering Research and Departement of Chemical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Yunani.
22. <http://www.osha.gov>



## LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran A: Glosarium

Lampiran B: Hasil Injeksi Inhibitor Kerak Silika di Pipa Uji

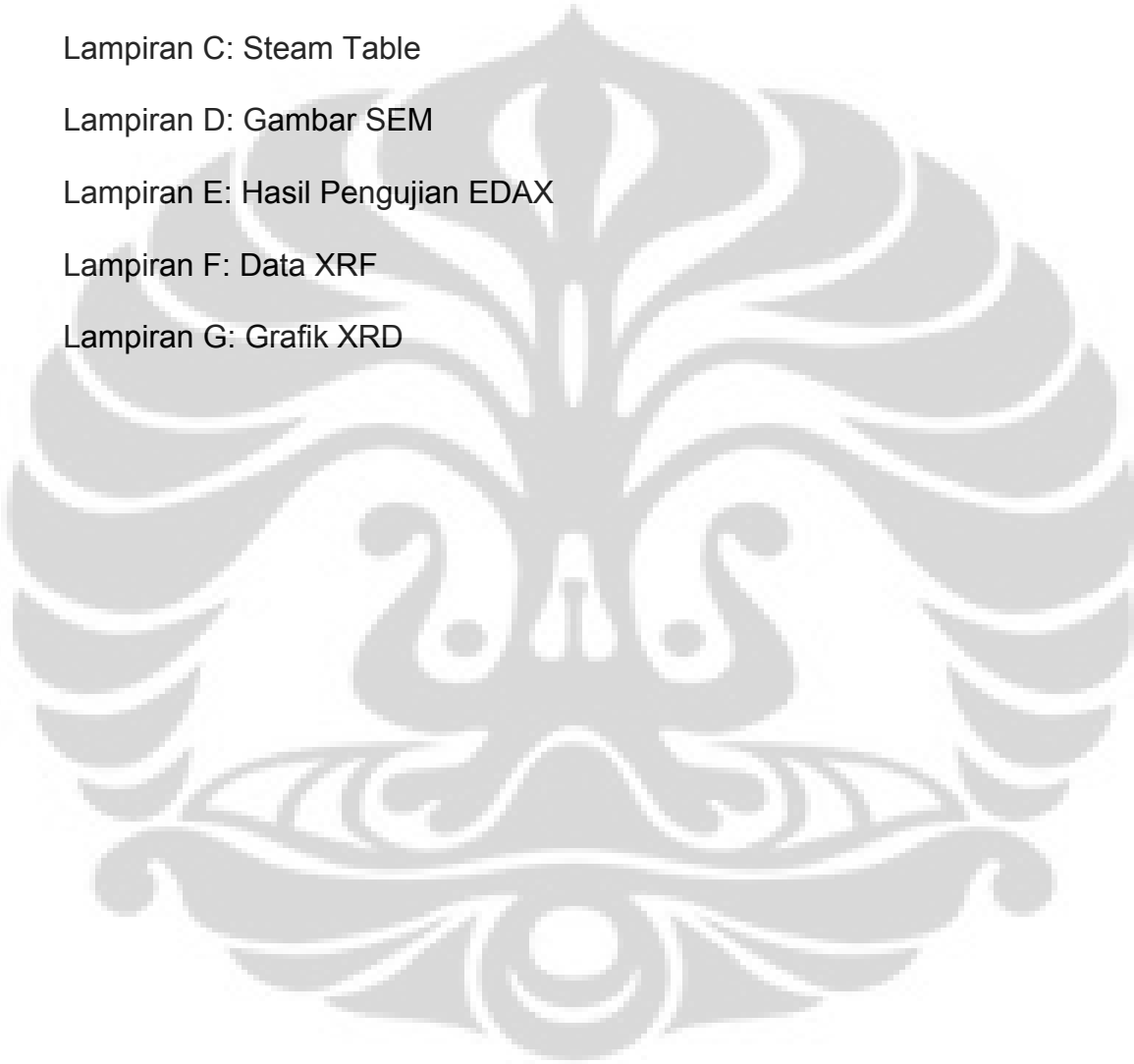
Lampiran C: Steam Table

Lampiran D: Gambar SEM

Lampiran E: Hasil Pengujian EDAX

Lampiran F: Data XRF

Lampiran G: Grafik XRD



## LAMPIRAN A

### GLOSARIUM

---

**Silica Saturation Index (SSI):** Index yang menggambarkan potensi silika untuk membentuk kerak

**Brine:** Air yang berasal dari hasil eksploitasi sumber panas bumi dan biasanya mengandung klorida dalam jumlah yang tinggi

**Bleeding:** Kondisi sumur produksi yang dibuka kecil dan tidak dihubungkan dengan pembangkit

**Hydrothermal:** Salah satu jenis sumber panas bumi yang berbasis air

**Flashing:** Proses perubahan fasa fluida fluida panas bumi menjadi uap karena berkurangnya tekanan

**Reservoir (geothermal):** Fluida baik berupa air maupun uap dalam jumlah besar yang terdapat dalam pori-pori batuan dan patán dibawah tanah batuan impermeable

**permeabilitas:** Kemampuan suatu material (batuan) untuk melewatkan cairan, contohnya kerikil dan pasir

**Subduksi:** Proses geologis dimana suatu lempeng bumi menumbuk lempeng lain dan masuk kedalamnya

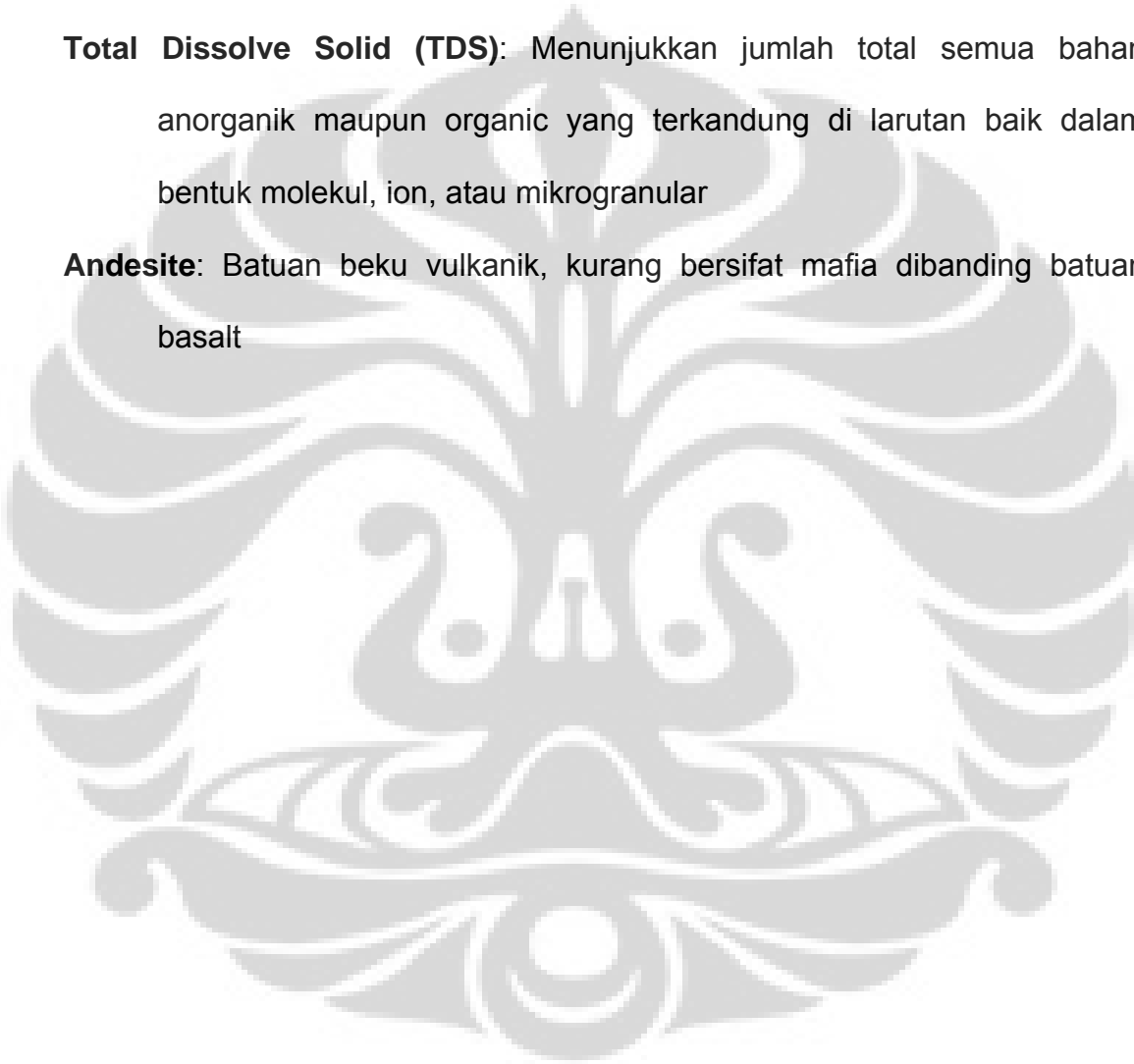
**Separator:** Bejana bertekanan yang digunakan untuk memisahkan brine dan uap, biasanya dengan memanfaatkan gaya sentrifugal

**Cap Rock:** batuan penutup reservoir panasbumi dan biasanya bersifat impermeable

**Sumur Injeksi:** Sumur dimana fluida panasbumi dikembalikan jauh ke dalam tanah setelah digunakan untuk memutar turbin

**Total Dissolve Solid (TDS):** Menunjukkan jumlah total semua bahan anorganik maupun organik yang terkandung di larutan baik dalam bentuk molekul, ion, atau mikrogranular

**Andesite:** Batuan beku vulkanik, kurang bersifat mafik dibanding batuan basalt



## LAMPIRAN B

### HASIL INJEKSI INHIBITOR KERAK SILIKA PADA PIPA BRINE

VARIASI ANTI SCALE SILICA MENGGUNAKAN POLYACRYLIC ACID (PAA) 10 ppm : BORIC ACID 8 ppm

NO	pH (unit)		EC (ms/cm)		Cl <sup>-</sup> (ppm)		SiO <sub>2</sub> (ppm)		Pressure (Psi)		T <sub>separator</sub> (°C)	TKS
	uji	blank	uji	blank	uji	blank	uji	blank	uji	blank		
1	5.1	5.1	21.3	24	6551	8929	465	477	70	152.29	173	560
2	4.9	4.9	27.4	29.3	7670	12791	408.75	433	70	152.29	178	560
3	6.7	6.7	27.3	13.05	11128	4663	611	254.25	70	145.04	180	560
4	6.7	6.7	29.8	14.05	12218	4776	628	285.5	70	145.04	180	560
5	4.8	4.8	28.1	13.24	10511	4593	672	220.25	85	152.29	180	540

VARIASI ANTI SCALE SILICA MENGGUNAKAN POLYACRYLIC ACID (PAA) 15 ppm : BORIC ACID 5 ppm

NO	pH (unit)		EC (ms/cm)		Cl <sup>-</sup> (ppm)		SiO <sub>2</sub> (ppm)		Pressure (Psi)		T <sub>separator</sub> (°C)	TKS
	uji	blank	uji	blank	uji	blank	uji	blank	uji	blank		
1	4.8	4.8	33	35.4	13796	13087	678	455	85	63.82	184	810
2	4.8	4.8	32	30.4	12669	11870	670	400	85	63.82	173	810
3	5.1	5.1	30.2	14.19	12047	4625	660	273	85	137.77	173	620
4	5.2	5.2	31.7	14.1	12011	5759	455	206	85	145.04	134	620
5	5.2	5.2	27.5	14.95	10147	4827	458	254	85	145.04	134	620

VARIASI ANTI SCALE SILICA MENGGUNAKAN POLYACRYLIC ACID (PAA) 20 ppm : BORIC ACID 3 ppm

NO	pH (unit)		EC (ms/cm)		Cl <sup>-</sup> (ppm)		SiO <sub>2</sub> (ppm)		Pressure (Psi)		T <sub>separator</sub> (°C)	TKS
	uji	blank	uji	blank	uji	blank	uji	blank	uji	blank		
1	5.2	5.2	27	13.5	10074	4630	450	270	85	145.04	184	620
2	5.1	5.1	31.2	20.1	9877	6845	608	373	85	145.04	177	490
3	5.1	5.1	32.5	21.4	10784	7647	558	317	85	145.04	177	490
4	5.1	5.1	32	17.06	12749	5647	672	300.75	100	137.79	160	480
5	5.1	5.1	33	16.9	14974	5474	678	305.5	100	137.79	160	480

## LAMPIRAN C

### STEAM TABLE

PROPERTIES OF WATER AND STEAM AS A FUNCTION OF TEMPERATURE AND PRESSURE (continued)

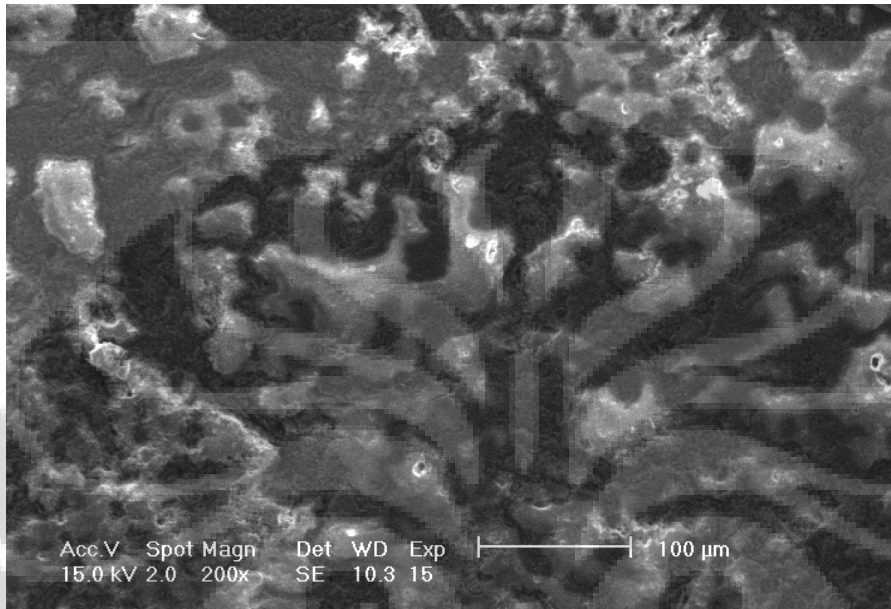
$p/\text{MPa}$	$T/\text{K}$	$\rho/\text{kg m}^{-3}$	$H/\text{J g}^{-1}$	$S/\text{J g}^{-1}\text{K}^{-1}$	$C_p/\text{J g}^{-1}\text{K}^{-1}$	Diel. const.
0.1	273.16	999.84	0.10	0.0000	4.2194	87.90
0.1	300	996.56	112.65	0.3031	4.1806	77.75
0.1	325	987.19	217.15	0.7276	4.1819	69.32
0.1	350	973.73	321.84	1.0380	4.1945	61.79
0.1	372.76	958.63	417.50	1.3028	4.2152	55.61
0.1	372.76	0.59034	2674.9	7.3588	2.0784	1.006
0.1	375	0.58653	2679.6	7.3713	2.0686	1.006
0.1	400	0.54761	2730.4	7.5025	2.0078	1.005
0.1	450	0.48458	2829.7	7.7365	1.9752	1.004
0.1	500	0.43514	2928.6	7.9447	1.9813	1.003
0.1	550	0.39507	3028.1	8.1344	2.0010	1.003
0.1	600	0.36185	3128.8	8.3096	2.0263	1.002
0.1	650	0.33384	3230.8	8.4730	2.0557	1.002
0.1	700	0.30988	3334.4	8.6264	2.0867	1.002
0.1	750	0.28915	3439.5	8.7715	2.1191	1.002
0.1	800	0.27102	3546.3	8.9093	2.1525	1.001
0.1	850	0.25504	3654.8	9.0408	2.1868	1.001
0.1	900	0.24085	3765.0	9.1668	2.2216	1.001
0.1	950	0.22815	3876.9	9.2879	2.2568	1.001
0.1	1000	0.21673	3990.7	9.4045	2.2921	1.001
0.1	1050	0.20640	4106.1	9.5172	2.3273	1.001
0.1	1100	0.19701	4223.4	9.6263	2.3621	1.001
0.1	1150	0.18844	4342.3	9.7321	2.3965	1.001
0.1	1200	0.18058	4463.0	9.8348	2.4302	1.001
1	273.16	1000.3	1.02	0.0000	4.2150	87.93
1	300	996.96	113.48	0.3028	4.1781	77.78
1	325	987.58	217.93	0.7272	4.1793	69.36
1	350	974.13	322.56	1.0374	4.1925	61.82
1	375	957.43	427.64	1.3274	4.2158	55.09
1	400	937.87	533.47	1.6005	4.2535	49.06
1	450	890.39	749.20	2.1066	4.3924	38.81
1	453.03	887.13	762.51	2.1381	4.4043	38.23
1	453.03	5.1450	2777.1	6.5850	2.7114	1.042
1	500	4.5323	2891.2	6.8250	2.2795	1.034

$p/\text{MPa}$	$T/\text{K}$	$\rho/\text{kg m}^{-3}$	$H/\text{J g}^{-1}$	$S/\text{J g}^{-1}\text{K}^{-1}$	$C_p/\text{J g}^{-1}\text{K}^{-1}$	Diel. const.
1	550	4.0581	3001.8	7.0359	2.1647	1.028
1	600	3.6871	3109.0	7.2224	2.1292	1.024
1	650	3.3843	3215.2	7.3925	2.1254	1.020
1	700	3.1305	3321.7	7.5504	2.1368	1.017
1	750	2.9140	3429.0	7.6984	2.1566	1.015
1	800	2.7265	3537.5	7.8384	2.1816	1.013
1	850	2.5624	3647.3	7.9715	2.2098	1.012
1	900	2.4174	3758.5	8.0986	2.2402	1.011
1	950	2.2832	3871.3	8.2206	2.2721	1.010
1	1000	2.1723	3985.7	8.3380	2.3048	1.009
1	1050	2.0678	4101.8	8.4512	2.3380	1.008
1	1100	1.9729	4219.5	8.5608	2.3713	1.007
1	1150	1.8865	4338.9	8.6669	2.4044	1.007
1	1200	1.8074	4460.0	8.7699	2.4371	1.006
10	273.16	1004.8	10.1	0.000	4.173	88.30
10	300	1001.0	121.7	0.390	4.153	78.11
10	325	991.46	225.6	0.723	4.160	69.67
10	350	978.09	329.7	1.031	4.173	62.13
10	375	961.62	434.4	1.320	4.195	55.40
10	400	942.42	539.6	1.592	4.230	49.39
10	450	896.16	753.9	2.096	4.355	39.17
10	500	838.02	977.1	2.566	4.602	30.79
10	550	761.82	1218	3.027	5.140	23.53
10	584.15	688.42	1408	3.360	6.123	18.70
10	584.15	55.463	2725	5.616	7.140	1.404
10	600	49.773	2820	5.775	5.136	1.365
10	650	40.479	3022	6.100	3.396	1.267
10	700	35.355	3177	6.330	2.874	1.214
10	750	31.810	3314	6.520	2.645	1.179
10	800	29.107	3443	6.686	2.531	1.154
10	850	26.933	3568	6.838	2.473	1.134
10	900	25.123	3691	6.978	2.445	1.118
10	950	23.580	3813	7.110	2.436	1.105
10	1000	22.241	3935	7.235	2.439	1.095
10	1050	21.063	4057	7.354	2.450	1.086
10	1100	20.017	4180	7.469	2.466	1.078
10	1150	19.078	4304	7.579	2.485	1.072
10	1200	18.230	4429	7.685	2.507	1.066
100	273.16	1045.3	95.4	-0.008	3.905	91.83
100	300	1037.2	201.4	0.362	3.979	81.22
100	325	1026.6	301.3	0.682	4.008	72.58
100	350	1013.6	401.7	0.979	4.025	64.95
100	375	998.39	502.6	1.258	4.040	58.19
100	400	981.82	603.7	1.518	4.056	52.20
100	450	943.51	807.8	1.999	4.110	42.15
100	500	899.21	1015	2.436	4.196	34.15
100	550	848.78	1228	2.842	4.323	27.67
100	600	791.49	1448	3.225	4.501	22.29
100	647.10	730.24	1665	3.573	4.733	17.97
100	650	726.21	1679	3.595	4.750	17.72
100	700	651.77	1925	3.958	5.083	13.75
100	750	568.52	2188	4.322	5.449	10.34
100	800	482.23	2466	4.681	5.610	7.562
100	850	404.66	2742	5.016	5.380	5.571
100	900	343.61	3000	5.310	4.887	4.284
100	950	298.61	3231	5.560	4.382	3.477
100	1000	265.45	3440	5.774	3.978	2.956
100	1050	240.32	3631	5.961	3.683	2.601
100	1100	220.62	3809	6.127	3.471	2.347
100	1150	204.71	3979	6.278	3.319	2.158
100	1200	191.53	4142	6.417	3.209	2.011

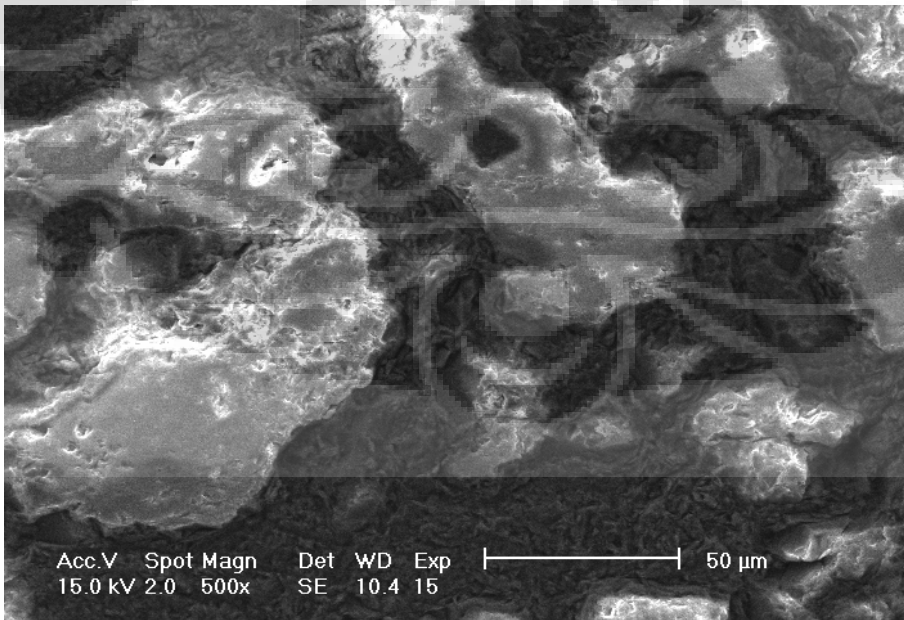


## LAMPIRAN D

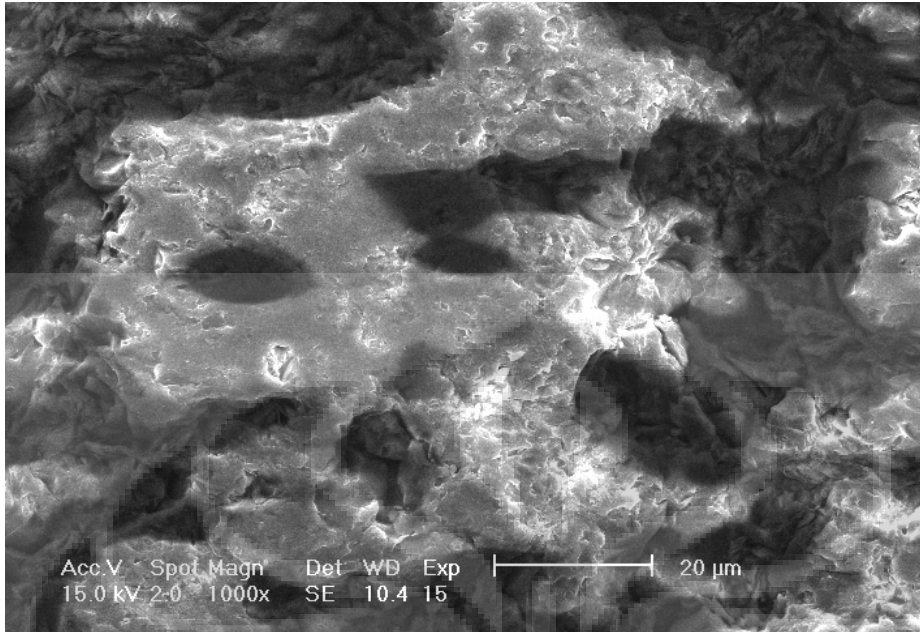
### GAMBAR SEM



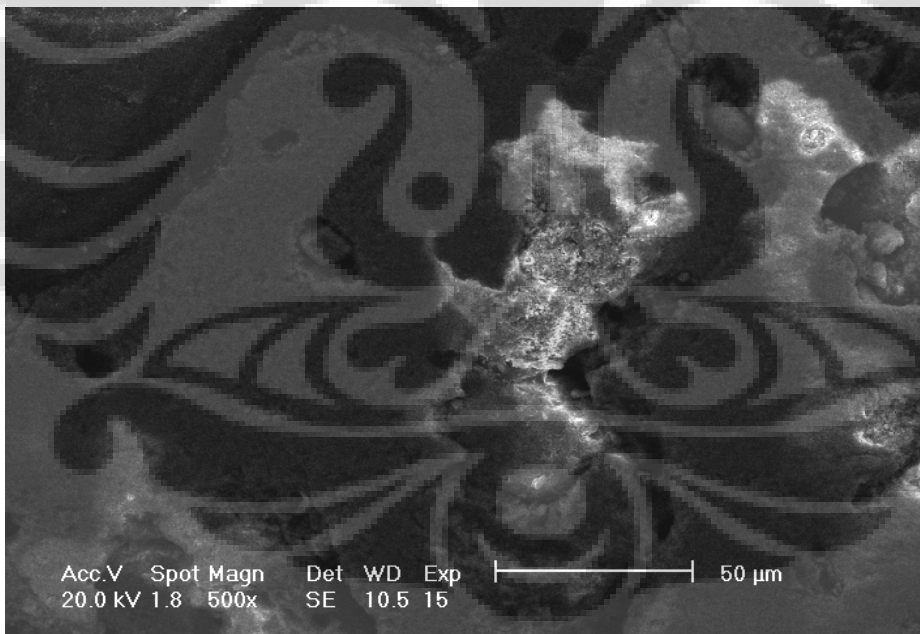
Gambar Sampel Kerak Silika Perbesaran 200x dengan jarak 100 µm d=10.3 mm EHT=15 kV spot 2.0



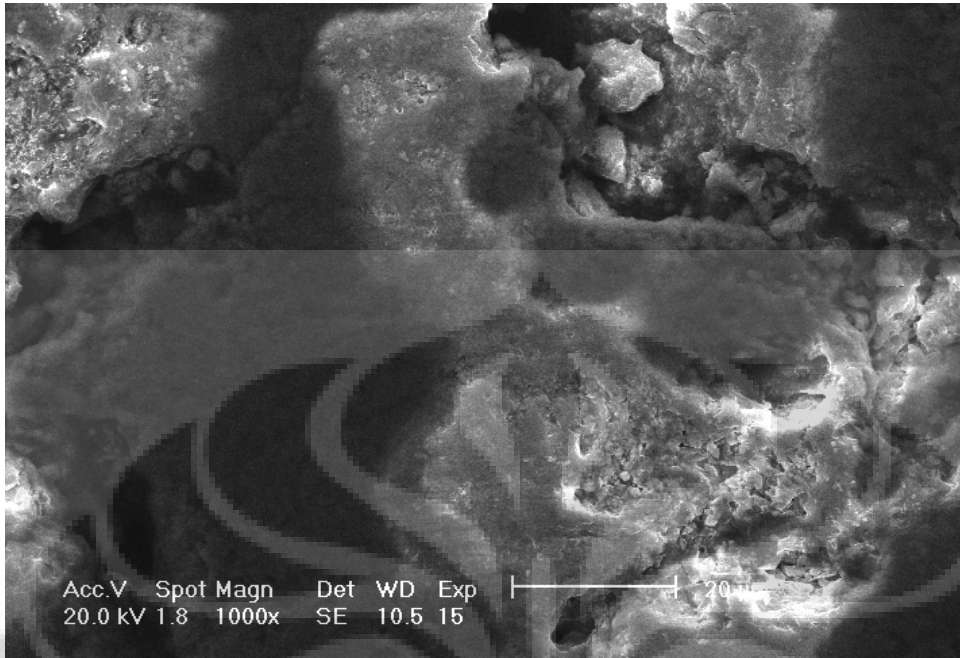
Gambar Sampel Kerak Silika Perbesaran 500x dengan jarak 100 µm d=10.3 mm EHT=15 kV spot 2.0



Gambar Sampel Kerak Silika Perbesaran 1000x dengan jarak 20  $\mu\text{m}$  wd=10.4 mm EHT=15 kV spot 2.0



Gambar Sampel Kerak Silika Perbesaran 500x dengan jarak 50  $\mu\text{m}$  wd=10.5 mm EHT=20 kV spot 1.8



Gambar Sampel Kerak Silika Perbesaran 1000x dengan jarak 20  $\mu\text{m}$   
wd=10.5 mm EHT=20 kV spot 1.8



## LAMPIRAN E

### HASIL PENGUJIAN EDAX

---

Untitled:1

Label :Gbr1-3, bright-1

Acquisition Time : 15:53:26 Date : 11-Jun-2008

Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	53.46	66.85	0.2004	1.0195	0.3675	1.0005
SiK	46.54	33.15	0.3822	0.9772	0.8404	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element	Net Inte.	Backgrd	Inte.	Error	P/B
---------	-----------	---------	-------	-------	-----

O K	337.83	3.46	0.78	97.51
SiK	837.13	5.59	0.49	149.83

kV: 20.00 Tilt: 4.60 Take-off: 38.26 Tc: 17.0  
Det Type:SUTW, Sapphire Res: 133.60 Lsec: 49

Untitled:1

Label :Gbr1-3, dark-1

Acquisition Time : 15:57:54 Date : 11-Jun-2008

Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	54.01	66.97	0.2204	1.0238	0.3984	1.0005
NaK	0.52	0.45	0.0022	0.9583	0.4296	1.0051
AlK	15.98	11.75	0.1124	0.9535	0.7299	1.0106
SiK	29.48	20.82	0.1971	0.9813	0.6812	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element	Net Inte.	Backgrd	Inte.	Error	P/B
---------	-----------	---------	-------	-------	-----

O K	2309.99	25.22	0.29	91.59
NaK	31.46	49.65	5.04	0.63
AlK	1640.59	52.54	0.35	31.23
SiK	2674.75	43.15	0.27	61.99

kV: 20.00 Tilt: 4.60 Take-off: 38.64 Tc: 17.0  
Det Type:SUTW, Sapphire Res: 133.60 Lsec: 51

**Untitled:1**

**Label :Gbr1-3, dark-2**

Acquisition Time : 16:03:35 Date : 11-Jun-2008

Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	41.67	55.24	0.1447	1.0304	0.3367	1.0006
NaK	0.59	0.54	0.0027	0.9644	0.4790	1.0068
AlK	19.82	15.58	0.1491	0.9596	0.7735	1.0138
SiK	37.93	28.64	0.2522	0.9875	0.6733	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element Net Inte. Backgrd Inte. Error P/B

O K	793.93	7.93	0.51	100.11
NaK	20.76	14.57	4.80	1.43
AlK	1139.81	19.43	0.43	58.67
SiK	1792.58	18.45	0.34	97.15

kV: 20.00 Tilt: 4.60 Take-off: 38.64 Tc: 17.0  
Det Type:SUTW, Sapphire Res: 133.60 Lsec: 50

**Untitled:1**

**Label :Gbr4-6, abu-abu-1**

Acquisition Time : 16:24:49 Date : 11-Jun-2008

Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	43.18	56.57	0.1667	1.0374	0.3720	1.0007
NaK	0.79	0.72	0.0036	0.9709	0.4710	1.0076
MgK	0.77	0.66	0.0048	0.9953	0.6247	1.0151
AlK	42.05	32.67	0.3071	0.9661	0.7537	1.0031
SiK	11.72	8.75	0.0596	0.9943	0.5114	1.0001
K K	0.32	0.17	0.0027	0.9427	0.8821	1.0006
TiK	0.39	0.17	0.0033	0.8812	0.9667	1.0011
FeK	0.79	0.30	0.0069	0.8764	1.0004	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element Net Inte. Backgrd Inte. Error P/B

O K	304.47	0.67	0.57	456.61
NaK	9.19	2.10	3.97	4.37
MgK	12.47	2.79	3.40	4.48
AlK	780.24	3.93	0.36	198.47
SiK	140.79	4.27	0.87	32.97
K K	4.35	4.94	8.65	0.88
TiK	3.85	3.71	8.70	1.04
FeK	4.62	2.54	6.73	1.82

kV: 20.00 Tilt: 4.60 Take-off: 38.78 Tc: 17.0  
Det Type:SUTW, Sapphire Res: 133.60 Lsec: 100

**Untitled:1**

**Label :Gbr4-6, bright-1**

Acquisition Time : 16:21:34 Date : 11-Jun-2008

Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	45.64	59.06	0.1789	1.0346	0.3786	1.0007
NaK	0.83	0.74	0.0037	0.9683	0.4594	1.0068
MgK	0.76	0.64	0.0047	0.9927	0.6126	1.0136
AlK	36.44	27.96	0.2622	0.9635	0.7435	1.0042
SiK	14.91	10.99	0.0798	0.9916	0.5401	1.0001
K K	0.34	0.18	0.0028	0.9401	0.8849	1.0005
TiK	0.32	0.14	0.0028	0.8788	0.9679	1.0011
FeK	0.78	0.29	0.0068	0.8740	1.0009	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element Net Inte. Backgrd Inte. Error P/B

O K	316.80	0.83	0.55	382.31
NaK	9.08	2.46	4.02	3.69
MgK	11.64	3.23	3.57	3.60
AlK	645.92	4.51	0.39	143.07
SiK	182.97	4.90	0.74	37.37
K K	4.38	5.32	8.64	0.82
TiK	3.12	4.03	10.45	0.78
FeK	4.40	2.60	6.87	1.69

kV: 20.00 Tilt: 4.60 Take-off: 38.78 Tc: 17.0  
Det Type:SUTW, Sapphire Res: 133.60 Lsec: 104

**Untitled:1****Label :Gbr4-6, dark-1**

Acquisition Time : 16:17:24 Date : 11-Jun-2008

Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	43.12	57.17	0.1478	1.0338	0.3313	1.0006
NaK	1.06	0.98	0.0047	0.9676	0.4523	1.0061
MgK	0.85	0.74	0.0051	0.9919	0.6026	1.0119
AlK	23.70	18.63	0.1689	0.9627	0.7335	1.0090
SiK	27.24	20.57	0.1678	0.9908	0.6213	1.0003
K K	2.00	1.09	0.0166	0.9396	0.8780	1.0010
TiK	0.86	0.38	0.0073	0.8784	0.9600	1.0015
FeK	1.16	0.44	0.0101	0.8737	0.9972	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element Net Inte. Backgrd Inte. Error P/B

Element	Net Inte.	Backgrd	Inte.	Error	P/B
O K	246.35	0.75	0.64	327.91	
NaK	10.78	2.29	3.64	4.70	
MgK	12.08	3.03	3.53	3.99	
AlK	391.67	4.25	0.51	92.22	
SiK	361.87	4.60	0.53	78.70	
K K	24.39	6.33	2.50	3.85	
TiK	7.78	4.43	5.25	1.76	
FeK	6.14	2.82	5.60	2.17	

kV: 20.00 Tilt: 4.60 Take-off: 38.74 Tc: 17.0  
Det Type:SUTW, Sapphire Res: 133.60 Lsec: 99**Untitled:1****Label :Gbr5, crystal batu-1**

Acquisition Time : 16:28:20 Date : 11-Jun-2008

Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	6.44	10.74	0.0147	1.0417	0.2190	1.0011
NaK	0.96	1.11	0.0063	0.9747	0.6640	1.0158
MgK	0.80	0.88	0.0066	0.9991	0.7982	1.0325
AlK	1.82	1.80	0.0167	0.9697	0.8921	1.0616
SiK	89.99	85.48	0.8419	0.9979	0.9376	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element Net Inte. Backgrd Inte. Error P/B

O K	21.67	0.77	2.22	28.12
NaK	12.87	2.06	3.20	6.24
MgK	13.66	2.66	3.19	5.13
AlK	34.25	3.67	1.88	9.32
SiK	1604.81	3.93	0.25	408.05

kV: 20.00 Tilt: 4.60 Take-off: 38.78 Tc: 17.0  
Det Type:SUTW, Sapphire Res: 133.60 Lsec: 99

**Untitled:1**

**Label :Gbr5, crystal batu-1**

Acquisition Time : 16:28:20 Date : 11-Jun-2008

Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	6.44	10.74	0.0147	1.0417	0.2190	1.0011
NaK	0.96	1.11	0.0063	0.9747	0.6640	1.0158
MgK	0.80	0.88	0.0066	0.9991	0.7982	1.0325
AlK	1.82	1.80	0.0167	0.9697	0.8921	1.0616
SiK	89.99	85.48	0.8419	0.9979	0.9376	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element Net Inte. Backgrd Inte. Error P/B

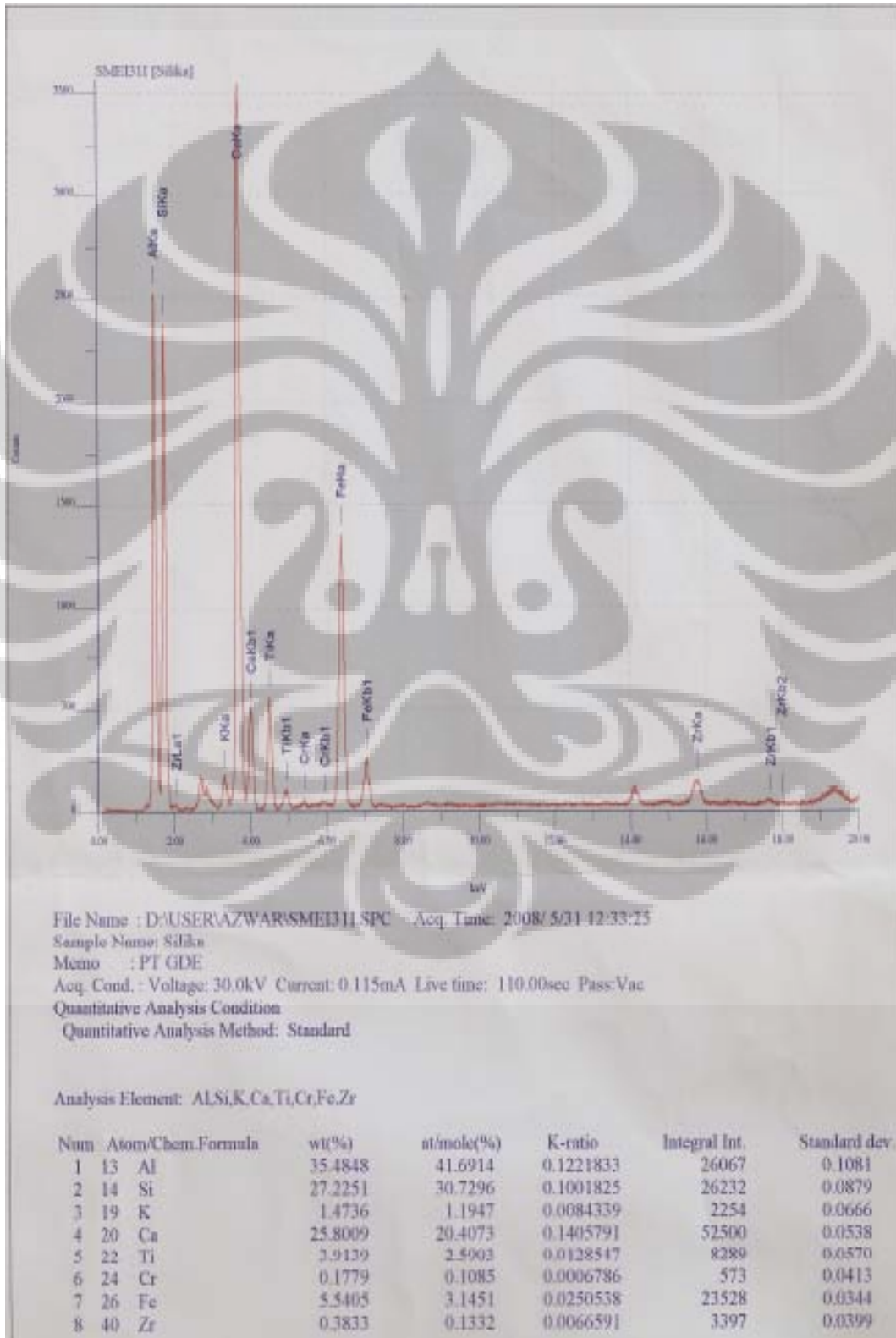
O K	21.67	0.77	2.22	28.12
NaK	12.87	2.06	3.20	6.24
MgK	13.66	2.66	3.19	5.13
AlK	34.25	3.67	1.88	9.32
SiK	1604.81	3.93	0.25	408.05

kV: 20.00 Tilt: 4.60 Take-off: 38.78 Tc: 17.0  
Det Type:SUTW, Sapphire Res: 133.60 Lsec: 99



# LAMPIRAN F

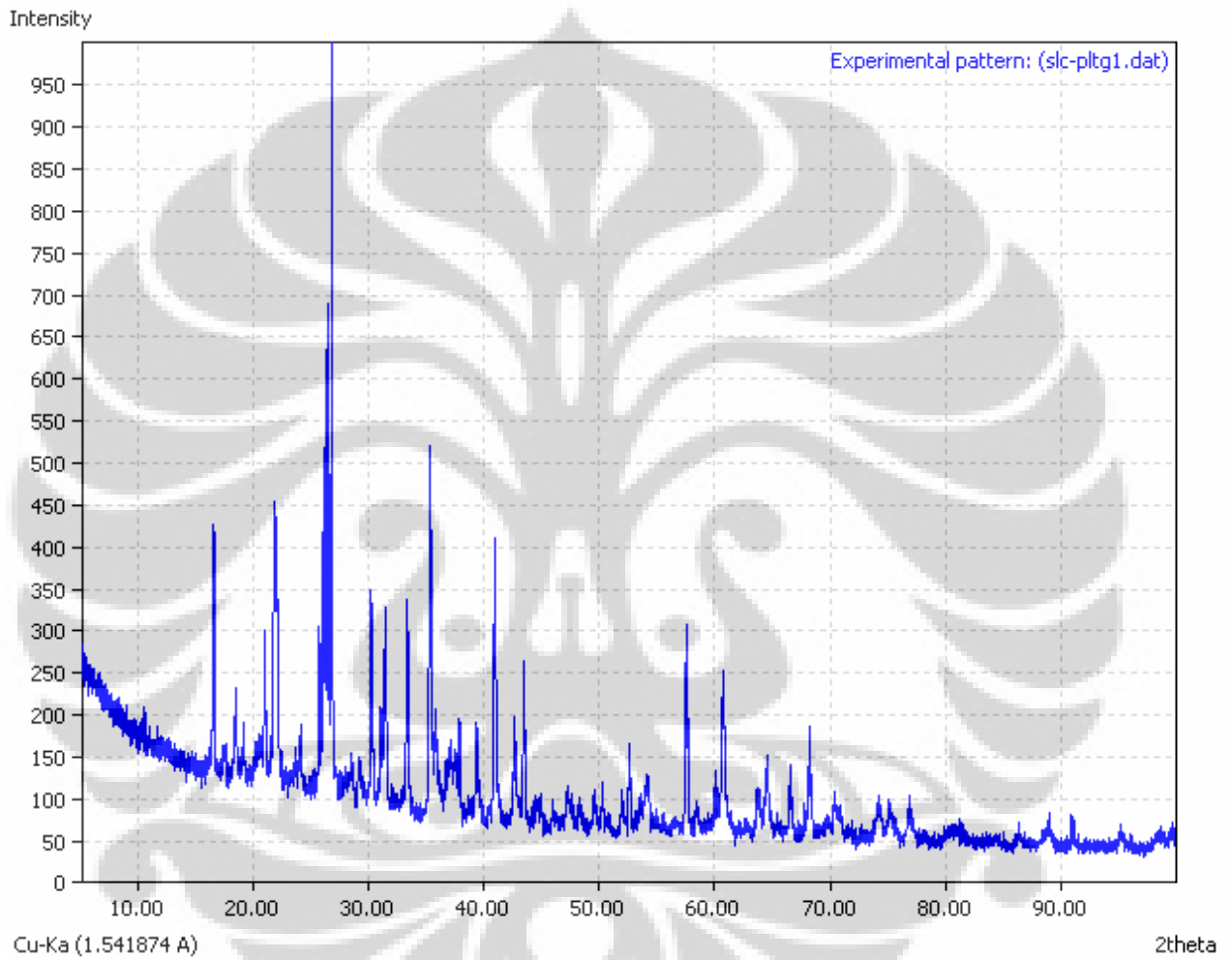
## DATA XRF



## LAMPIRAN G

### GRAFIK XRD

---



## LAMPIRAN H

### PENGARUH TEKANAN DAN TEMPERATUR TERHADAP PEMBENTUKAN KERAK SILIKA

PENGARUH PENGATURAN T DAN P OPERASI DI KEPALA SUMUR DAN DI SEPARATOR TERHADAP POTENSI SCALING

WELL	THRO ( inchi )	WELL HEAD				2 PHASE				SEPARATOR				
		TEKANAN ( psig )	( bara )	T Sat ( ° C )	SiO <sub>2</sub> Solubility ( ppm )	TEKANAN ( psig )	( bara )	T Sat ( ° C )	SiO <sub>2</sub> Solubility ( ppm )	TEKANAN ( barg )	( bara )	T Sat ( ° C )	SiO <sub>2</sub> Solubility ( ppm )	SiO <sub>2</sub> brine ( ppm )
HCE-28A	3.5	390	27.7	229	1159.9	165	12.2	188	860.4	10.5	11.3	185	839	792
HCE-28B	2	500	35.3	243	1266.1	170	12.5	189	870.5	11	11.8	186	850	1070
HCE-7A	1.5	400	28.4	230	1167.5	168	12.4	189	865.5	10.5	11.3	185	839	972
HCE-7B	0.5	380	27.0	227	1144.5	172	12.6	190	875.5	10.5	11.3	185	839	917
HCE-7C	1.75	600	42.2	253	1352.2	172	12.6	190	875.5	10.5	11.5	186	846	1252

WELL	Silica Saturation Index					
	Well Head	Comment	2 phase	Comment	Separator	Comment
HCE-28A	0.68		0.92		0.94	
HCE-28B	0.85		1.23	Scaling	1.26	Scaling
HCE-7A	0.83		1.12	Scaling	1.16	Scaling
HCE-7B	0.80		1.05	Scaling	1.09	Scaling
HCE-7C	0.93		1.43	Scaling	1.48	Scaling
HCE-31	0.74		1.25	Scaling	1.29	Scaling