

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Profil Perusahaan

2.1.1 Sejarah dan Perkembangan PT. Timah Industri

PT. TIMAH Industri adalah salah satu anak perusahaan dari PT. Timah (persero) Tbk, yang berdiri pada tahun 2009, PT. Timah Tbk, merupakan salah satu produsen dan pengekspor timah terbesar di dunia. Melalui PT. Timah industri mulai dilakukan pengembangan petrokimia dalam bidang STABILIZER dari bahan baku logam timah berupa timah bebas timbal yang digunakan sebagai *stabilizer* atau bahan tambahan adiktif dalam pembuatan pipa PVC dan produk lainnya yang berbahan utama PVC. Sadar akan kesehatan dan kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan *lead* atau timah hitam membuat PT Timah Industri melakukan pengembangan produknya berupa *Tin Based Tin Chemical*. PT. Timah Industri menghasilkan beberapa produk yang berbasis industri *Tin Based Tin Chemical* yang pokok utamanya menjadi 3 Produk yaitu BANKASTAB yaitu senyawa timah organik berupa *DMT-5xx series (Dimethyltin Diclорide Solution)*, *MT-5xx series (methyltin mercaptida TGA based STABILIZER)* dan *MT-7xx (methyltin mercaptida RE based STABILIZER)*. BANKASTANNIC yaitu senyawa anorganik dimana timah padat (Sn) diubah menjadi timah cair (SnCl) dengan tambahan gas Cl sehingga produk berubah menjadi cair. BANKAESA yang merupakan produk timah terbesar untuk memenuhi kebutuhan timah dunia berupa *solder bar extrude, solder bar casting, solder ware, solder paste, solder ball, dan solder half bal* (Nidanurrohman, 2017).

Laboratorium yang tersedia di PT. Timah industri meliputi laboratorium basah, laboratorium instrument, dan laboratorium aplikasi dimana setiap laboratoriumnya memiliki peranan dan fungsinya masing masing. Laboratorium basah digunakan untuk analisis harian yang meliputi uji sulfur, uji bilangan asam, uji Cl dan uji ammonia. Untuk laboratorium instrument meliputi XRF, spektrofotometer UV-VIS, GC, OES (Optical Emission Spektrofotometer). Laboratorium aplikasi digunakan sebagai tempat *trial* pembuatan produk sebelum dibuat dalam skala besar dan mengaplikasikannya.

2.1.2 Visi dan Misi PT. Timah Industri

Visi PT. Timah Industri adalah “**Menjadi Perusahaan Industri Hilir Timah Terkemuka di Dunia**” sedangkan misi dari PT. Timah Industri adalah “membangun sumber daya manusia yang kompeten pada industry hilir timan,” “memperkuat daya saing dan nilai tambah produk hilir timah” dan “mendongkrak penggunaan prooduk hilir timah didalam negeri”.

2.1.3 Tugas dan Fungsi Pokok PT.Timah Industri

Tugas dari PT.Timah industri sendiri adalah hilirisasi timah logam dari prusahaan induk yang kemudian dikembangkan menjadi jenis produk timah yang tidak hanya berupa ligam timah saja tetapi dikembangkan dan diolah menjadi beberapa produk yang bisa dimanfaatkan diberbagai jenis produk, dan fungsi dari PT,timah industri yaitu mengembangkan produk logam timah menjadi prodak yang memiliki fungsi lebih banyak, menyediakan bahan baku tambahan PVC untuk kebutuhan dalam negeri maupun luar negeri.

2.2 Timah

Timah adalah unsur kimia yang memiliki simbol Sn dan nomor atom 50, timah terbentuk oleh 9 isotop yang stabil. Timah merupakan logam berwarna putih keperakan dengan kekerasan yang rendah, mempunyai sifat konduktifitas panas dan listrik yang tinggi, relatif lunak, tahan karat dan memiliki titik leleh yang rendah. Di alam timah tidak di temukan dan diperoleh dalam unsur bebasnya akan tetapi peroleh dalam bentuk oksidanya berupa SnO₂ dengan kandungan timah 78%. Logam timah di aam tidak tersebar dengan merata dan terdapat dalam satu daerah geografis, dimana sumber yang melimpah dengan logam timah aalah daerah Myanmar, Thaiand, Malaysia, dan Indonesia (wati. 2014). Logam timah dan penambangan timah di Indonesia berada di pulau Bangka, pulau Belitung dan pulau singkep (PT.Timah).

Timah merupakan mineral yang lebih cenderung kepada sifat logam, dapat ditempa dan ditarik, tahan pengaruh udara, bereaksi dengan asam kuat dengan membentuk asam stannat H₂SnO₃. PT.Timah industri menggunakan timah sebagai bahan baku untuk membuat tin stabilizer, proses pembuatanya diawali dengan

membuat SnCl_4 sebagai bahan baku DMT, kemudian DMT EHTG dan ammonia di campur sehingga menjadi produk berupa tin stabilizer.

2.3 Tin Stabilizer

Tin stabilizer MT 620 atau *Methyl Tin Mercaptite* atau yang lebih dikenal dengan sebutan organotin stabilizer adalah stabilisator atau bahan untuk menstabilkan produk pipa *polyvinyl Chloride* (PVC) yang berfungsi untuk mencegah terjadinya degradasi (Wolf dan Kaul, 2002). Stabilizer sendiri mempunyai peran untuk penstabil panas dan cahaya untuk memastikan produk PVC yang dihasilkan aman dan tidak mudah rusak. Pembuatan organotin stabilizer ini berawal dari logam timah yang dicampurkan dengan chlorine dan menghasilkan stannic chloride atau SnCl_4 (Wilkes, C.E. dkk, 2005). Produk SnCl_4 ini merupakan bahan baku dasar pembuatan DMTDCI yang kemudian digunakan pada proses pembuatan tin stabilizer dengan mencampurkan bahan seperti DMTDCI, 2EHTG, amoniak, dan akuades.

Tin stabilizer yang mengandung 20-30% kandungan timah sejauh ini dapat menstabilkan pipa PVC sekalipun pada penambahan level serendah 0,5%. Efisiensi dari produk ini dapat dilihat langsung dari hasil kerja produk setelah bercampur dengan campuran resin PVC, karena dari struktur molekul tin stabilizer sendiri yang merupakan dibutyltin bis (isooctyltin mercaptoacetate) yang mempunyai viskositas yang rendah sehingga cepat diserap oleh butiran resin PVC (Wilkes, C.E. dkk, 2005).

Pengaplikasian pada pipa PVC atas persetujuan badan pengawas obat dan makanan atau FDA (Food and Drug Administration) di Amerika, turunan dari gugus senyawa tin stabilizer ini yaitu methyltin isooctyl mercaptoacetate sendiri dapat di aplikasikan sebagai PVC pembungkus produk makanan dengan menaikan kandungan timahnya (Wilkes, C.E. dkk, 2005). Selain pada pengaplikasian produk di atas tin stabilizer sediri bisa digunakan untuk stabilisator pada pembuatan botol minuman ataupun botol pelastik, dan pembuatan interior berbahan pelastik lainnya yang memerlukan stabilizer dalam pembuatannya.

Tabel 2.1 Data Quality Produk Tin Stabilizer

<i>Parameter</i>	<i>Specification</i>	<i>Methods</i>
<i>Clarity</i>	<i>Clear</i>	<i>Visual Inspection</i>
<i>% Transmission</i>	<i>> 90</i>	<i>Spectrophotometric</i>
<i>% Tin</i>	<i>19.0 ± 0.4</i>	<i>X-Ray Fluorescence</i>
<i>RI @ 25° C</i>	<i>1.509 ± 0.002</i>	<i>Refractometer</i>
<i>SG @ 25° C</i>	<i>1.17 ± 0.01</i>	<i>Density Meter</i>
<i>Acid Value</i>	<i>Max 3</i>	<i>Acidimetric Titration</i>
<i>% Sulfur</i>	<i>12.0 ± 0.5</i>	<i>Iodimetric Titration</i>
<i>Water Content</i>	<i>< 3.5</i>	<i>Karl Fisher</i>
<i>Yellowish Index</i>	<i>< 8.5</i>	<i>Spectrophotometric</i>
<i>2-EH</i>	<i><0.7</i>	<i>Gas Chromatography</i>
<i>Viscosity @25° C</i>	<i>40 – 80 cps</i>	<i>Viscometer</i>
<i>Colour Gardner</i>	<i>Max 2</i>	<i>Visual Inspection</i>
<i>Monomethyltin</i>	<i>19% - 29%</i>	<i>NMR</i>

Sumber : (*Quality control PT.Timah Insudtri*)

2.4 Penentuan Kadar Sulfur Dalam Sampel

Sulfur dalam sampel perlu ditentukan untuk menjamin mutu dari produk, penentuan kadar sulfur pada produk menggunakan metode titrasi iodimetri dengan menggunakan iodin sebagai titran, iodin yang digunakan dalam metode ini menggunakan iodin baku dengan konsentrasi 0.1 N, sampel ditimbang sebanyak 0.1 g dilarutkan dengan pelarut 2-propanol kemudian dititrasi hingga mengalami perubahan warna titrat dari tidak berwarna menjadi kuning pucat. Penentuan kadar sulfur di tentukan karena semakin besar kadar sulfur dalam produk maka produk akan semakin bau dan menurunkan kualitas, sulfur juga berpengaruh terhadap warna dari produk itu sendiri dimana jika semakin besar kadar sulfur maka akan membuat warna dari produk semakin kuning. Penentuan kadar bisa menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2

$$\text{Kadar (\%)} = \frac{N \text{ iod} \left(\frac{\text{greek}}{\text{L}}\right) \times BE \text{ Sulfur} \left(\frac{\text{gram}}{\text{greek}}\right) \times \text{Volume titrasi (ml)} \times 10^{-3} \left(\frac{\text{L}}{\text{mL}}\right)}{\text{massa sampel (gram)}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Kadar (\%)} = \frac{V \text{ iod} \times 3.2064 \times 0.1 \text{ N}}{\text{massa sampel}} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Sumber : (*TI.TC/8/SOP/5.4 “metode pengujian dan validasi metode”*)

2.5 Titrasi

Metode titrasi merupakan metode pengukuran volume dari titran yang dibutuhkan untuk mencapai titik ekuivalen. Analisis dengan metode titrasi didasarkan pada reaksi kimia seperti :



dimana a sebagai analit, bereaksi dengan t sebagai pereaksi T. Pereaksi T yang disebut titran, ditambahkan secara kontinue, dalam wujud larutan yang konsentrasinya sudah diketahui, Larutan ini disebut dengan larutan standar yang konsentrasinya di tentukan. dari proses standarisasi. Penambahan titran tetap dilakukan sampai jumlah T secara kimiawi sama dengan yang telah ditambahkan kepada A dan kemudian akan mencapai titik ekuivalen. Perubahan warna ini bisa terjadi persis di pada titik ekuivalen, tetapi bisa juga tidak. Tentu saja diharapkan bahwa titik akhir ini sedekat mungkin dengan titik ekuivalen (Day dan Underwood, 2002).



Titras harus dilakukan dengan lambat agar I_2 sempurna bereaksi dengan sampel, jika titrasi cepat maka I_2 tidak bereaksi sempurna dengan sampel sehingga titik akhir titrasi lebih cepat tercapai dan hasilnya tidak akurat (Sudjaji, 2007), titik akhir titrasi ditandai dengan perubahan dari tidak berwarna menjadi kuning pucat pada titik akhir titrasi. (*prosedur TI.TC/8/SOP/5.4 “metode pengujian dan validasi metode”*)

2.6 Validasi Metode

Validasi metode adalah metode yang digunakan di laboratorium kimia analitik yang harus dievaluasi dan diuji untuk memastikan bahwa metode tersebut mampu menghasilkan data yang valid (Riyanto, 2014). Proses validasi dilakukan ketika terdapat pengembangan pada suatu metode baku. Contoh metode baku yang digunakan dalam analisis adalah AOAC, ISO, CODEX, USP dan lainnya adapun parameter yang digunakan untuk proses validasi adalah linearitas, akurasi, presisi, Limit of Detection (LOD), Limit of Quantitation (LOQ), ketangguhan, spesifitas, sensitivitas dan ketidakpastian pengukuran. Proses validasi dilakukan apabila

metode baku atau metode yang sudah rutin digunakan dalam suatu laboratorium mengalami pengembangan untuk memecahkan suatu permasalahan analisa yang baru.

Metode analisis digolongkan menjadi lima, yaitu metode baku (SNI dan ASTM), metode resmi (farmakope), metode yang dikembangkan oleh laboratorium, metode pustaka (jurnal-jurnal kimia analisis), dan metode yang dikembangkan oleh organisasi professional ilmiah. Alasan suatu metode harus divalidasi adalah karena tidak ada metode yang sesuai untuk jenis sampel tertentu, rangkaian prosedur yang sudah ada terlalu rumit sehingga dapat menimbulkan kesalahan yang menyebabkan hasil presisi dan akurasi yang tidak dapat diterima, membutuhkan banyak reagen, tidak praktis atau waktu yang dibutuhkan lama. Suatu metode yang dikembangkan harus bersifat efisien, akurat, presisi dan spesifik. Menurut ISO 17025:2005, suatu metode harus divalidasi ketikamemenuhi salah satu prasyarat berikut ini:

1. Metode tidak baku, misalnya dari diktat, buku teks dan jurnal yang belum diakui secara luas
2. Metode yang dikembangkan oleh laboratorium
3. Metode standar yang digunakan di luar ruang lingkupnya
4. Perubahan sekecil apapun dari metode standar, misalnya perubahan prosedur dan perubahan volume reagensia
5. Gabungan antara metode standar dan metode bukan standard

2.6.1 Linieritas

Linieritas adalah kemampuan metode analisis yang menunjukkan hubungan antar variabel x dan variabel y. Konsentrasi dinyatakan dalam sumbu x dan respon dinyatakan dalam sumbu y. Linearitas dilakukan dengan memvariasi larutan standar dengan konsentrasi yang berbeda. Data yang diperoleh kemudian diproses untuk memperoleh nilai persamaan garis linear $Y = Ax + B$, yang menyatakan kemiringan (*slope*), intersep dan nilai koefisien korelasi (*r*). Nilai A menunjukkan slope, nilai X menunjukkan kadar atau konsentrasi analit pada sampel, nilai B menunjukkan intersep dan nilai Y menunjukkan respon metode atau alat instrumen. Nilai *slope* A merupakan ukuran kemiringan dari suatu garis yang menunjukkan

seberapa besar pengaruh variabel x terhadap variabel y. Intersep B merupakan titik perpotongan sumbu y dengan suatu garis saat nilai konsentrasi (X) adalah nol. Koefisien korelasi adalah pengukur statistik kovarian antara dua variabel yang menunjukkan hubungan linear antara dua variabel. Keberterimaan data regresi linear dapat diterima apabila memiliki nilai koefisien determinasi (R) > 0,997 (Chan, 2004). Nilai koefisien korelasi berkisar antara +1 atau -1. Menurut Sarwono (2013) kekuatan hubungan antara variabel x dan variabel y dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Hubungan Antara Variabel X dan variabel Y

Nilai	Keterangan
0	Tidak ada korelasi antara dua variable
>0-0,25	Korelasi sangat lemah
>0,25-0,5	Korelasi cukup
>0,5-0,75	Korelasi kuat
>0,75-0,99	Korelasi sangat kuat
1	Korelasi sempurna

Sumber : (Sarwono, 2006)

2.6.2 *Limit of Detection (LOD) dan Limit of Quantitation (LOQ)*

Analit terkecil dalam sampel yang masih dapat di deteksi dan bisa dibandingkan dengan blanko bisa kita sebut dengan batas deteksi atau parameter uji batas (LOD), sedangkan kuantitas terkecil yang masih bisa di deteksi dan masih masuk kedalam kriteria cermat bisa kita sebut dengan batas kuantitasi (LOQ) (Riyanto, 2014). Dalam penelitian ini digunakan metode kurva kalibrasi untuk menentukan LOD dan LOQ. Dapat diasumsikan bahwa nilai y akan berhubungan linier dengan nilai x, hal ini bisa digambarkan pada persamaan regresinya dengan persamaan

$$LOD = \frac{sy}{x} \times 3 \dots\dots\dots(2.3)$$

$$LOQ = \frac{sy}{x} \times 10 \dots\dots\dots(2.4)$$

2.6.3 Presisi

Presisi merupakan ukuran yang menunjukkan kesesuaian pengukuran jika dilakukan secara berulang dalam waktu yang sama. Menurut Rohman (2014) presisi dapat dibagi dalam tiga kategori yaitu keterulangan (*repeatability*), presisi antara dan ketertiruan (*reproducibility*):

1. Keterulangan (*repeatability*) adalah analisis suatu sampel yang dilakukan pada kondisi yang sama, baik analisis, peralatan, tempat dan dilakukan dalam interval waktu yang singkat.
2. Presisi antara (*intermediate precision*), yaitu bagian dari presisi yang dilakukan pada kondisi percobaan yang salah satunya berbeda, baik analisis, waktu, alat maupun laboratorium yang berbeda.
3. Ketertiruan (*reproducibility*) adalah keseksamaan metode yang dikerjakan pada kondisi yang berbeda, seperti studi banding antar laboratorium atau uji profisiensi dengan peralatan, pereaksi, pelarut, analisis yang berbeda namun sampel yang digunakan sama (Riyanto, 2014).

Penentuan presisi uji dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.5 dan 2.6

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$RSD (\%) = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- SD = Standar Deviasi
- X = Konsentrasi sampel
- \bar{x} = Konsentrasi rata – rata
- n = banyaknya pengulangan

Semakin kecil nilai presisi yang diperoleh maka metode yang digunakan semakin teliti. Secara umum, uji presisi dikatakan baik apabila nilai $RSD \geq 2$. Apabila nilai persentase RSD lebih dari 2 maka perlu dibandingkan dengan CV Horwitz (Riyanto, 2014). Perolehan CV Horwitz dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.7.

$$CV \text{ Horwitz} = 2^{1-0.5 \times \log(C)} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

C = fraksi konsentrasi

CV Horwitz = koefisien variasi horwitz

Tabel 2.3 Tingkat Presisi Berdasarkan Konsentrasi Analit

Jumlah komponen terukur dalam sampel	% RSD
100%	1,3
10%	1,9
1%	2,7
0.1%	3,7
100 ppm	5,3
10 ppm	7,3
1 ppm	11
100 pp	15
10 ppb	21
1 ppb	30

Sumber : (AOAC,2002)

2.6.4 Akurasi

Akurasi menunjukkan kedekatan antara hasil pengujian dengan nilai sebenarnya. Akurasi dinyatakan sebagai persen perolehan kembali (*recovery*) analit yang ditambahkan. Akurasi dapat ditentukan melalui tiga cara, yaitu menggunakan metode *spike-placebo*, *Standard Reference Material (SRM)* dan menggunakan penambahan standar. Penentuan akurasi menggunakan uji perolehan kembali (*recovery*) dilakukan apabila tidak tersedianya CRM. Persamaan perolehan uji kembali dirumuskan pada 2.8. Apabila dalam suatu pengujian terdapat *Standard Reference Material (SRM)* dan maka penentuan akurasi dapat menggunakan persamaan 2.9.

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{C(\text{sampel} + \text{standar}) - C(\text{sampel})}{C(\text{Standar})} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Akurasi (\%)} = \frac{\text{Konsentrasi terukur}}{\text{Konsentrasi sebenarnya}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

Akurasi merupakan kemampuan metode analisis yang dilakukan secara berulang untuk memperoleh nilai benar. Menurut AOAC (2002), persentase perolehan kembali (*%Recovery*) yang diterima berdasarkan konsentrasi analit pada matriks dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai Recovery Berdasarkan Nilai Konsentrasi Sampel

Analit pada matriks sampel	Recovery yang diterima %
100%	98-102
10%	98-102
1%	97-103
0.1%	95-105
100 ppm	90-107
10 ppm	80-110
1 ppm	80-110
100 ppb	80-100
10 ppb	60-115
1 ppb	40-120

Sumber : (AOAC. 2002)

Pada metode ini digunakan tehnik spiking untuk menentukan nilai dari *recovery* atau temu balik dari pengujian yang dilakukan. Metode ini dipilih karena tidak adanya CRM dari produk dari instansi dan merupakan produk baru dan belum ada yang menyamainnya,

2.6.5 Uji ketangguhan dan ketegaran

Ketangguhan dan ketegaran suatu metode harus di uji dengan cara menguji derajat ketertiruan hasil uji yang diperoleh dalam analisis menggunakan sampel yang sama dalam keadaan normal, pengujian dilakukan untuk mengetahui kesetabilan metode analisis. uji ini dilakukan pada waktu yang berbeda, analisis yang berbeda, volume pelarut yang berbeda. Tujuan dari uji ini adalah untuk menyatakan bahwa tidak ada pengaruh perbedaan hasil uji dari metode yang telah digunakan. Uji yang bisa dilakukan adalah uji-t, uji F, dan stabilitas.

2.6.5.1 Uji-t

Uji-t dilakukan untuk mengetahui signifikansi peran secara parsial antara variabel independen terhadap variabel dependen dengan asumsi bahwa variabel independen yang lainnya dianggap konstan (Sugiono 2014). Uji-t digunakan untuk menguji perbedaan dalam proses analisis dengan cara dibandingkan antara hasil

analisis yang satu dengan yang lainnya. Prinsip untuk membandingkan antara dua data serta selang nilai kepercayaanya.

Uji bisa menggunakan persamaan :

$$t = \frac{(x_1 - x_2)}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$s = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{(n_1 + n_2) - 2}$$

keterangan :

x1 = nilai rata-rata pengujian kelompok 1

x2 = nilai rata-rata pengujian kelompok 2

n1 = banyaknya data pengujian kelompok 1

n2 = banyaknya data pengujian kelompok 2

s = standar deviasi gabungan

H0 diterima jika T hitung \leq T tabel

H0 ditolak jika T hitung \geq T tabel

2.6.5.2 Uji stabilitas

Uji stabilitas bisa kita tentukan dengan menggunakan kontrol charts dengan pengamatan berdasarkan rentang waktu. Parameter yang di cari adalah nilai dari UCL (*Upper control limit*), CL (*central line*) dan LCL (*lower control limit*),

Penentuan UCL menggunakan persamaan

$$UCL = \bar{x} + (3 \times SD)$$

$$CL = \bar{x} \text{ data}$$

$$LCL = \bar{x} - (3 \times SD)$$

2.6.6 Estimasi Ketidakpastian Pengukuran

Laboratorium harus mengeluarkan hasil sesuai tujuan dengan memberikan keyakinan atas hasil analisisnya, keyakinan tersebut bisa diwakilkan dengan angka ketidakpastian. Ketidakpastian harus secara hati hati di definisikan dan diidentifikasi, semua angka angka dan sumber harus di identifikasi dan diperhitungkan. Ketidakpastian pada setiap pengukuran memberikan kesalahan acak

ataupun sistematis (Riyanto, 2014). Sehingga pelaporan nilai ketidakpastian harus dilaporkan untuk melengkapi data hasil pengujian.

Menurut Rohman (2014) ada 5 tahapan perhitungan estimasi ketidakpastian, yaitu :

1. Spesifikasi pengukuran

Spesifikasi pengukuran dinyatakan dengan jelas yang terkait tentang pengukuran, jika tahap pengambilan sampel mempengaruhi hasil, maka tahap pengambilan dimasukkan ke dalam sumber estimasi ketidakpastian berupa angka-angka.

2. Identifikasi sumber-sumber ketidakpastian

Seluruh sumber ketidakpastian harus terperinci untuk setiap perlakuan yang berpotensi memberikan pengaruh hasil pengukuran. Sumber yang harus diperhatikan meliputi pengambilan sampel, kondisi pengambilan, pengaruh sampel, pengaruh komputasi atau input data, pengaruh analisis dan pengaruh acak. Semua itu bisa digambarkan dengan diagram tulang ikan atau *fish bond*.

3. Perhitungan ketidakpastian baku

Jika sumber telah diketahui dan diidentifikasi, selanjutnya adalah mengkuantifikasi ketidakpastian yang berasal dari sumber-sumber penyumbang ketidakpastian. Setiap sumber penyumbang ketidakpastian yang teridentifikasi semua harus dikuantifikasi dan diubah ke nilai ketidakpastian baku (Rohman, 2014).

4. Perhitungan ketidakpastian gabungan

Hasil yang telah diperoleh dari ketidakpastian baku kemudian digabungkan agar diketahui ketidakpastian gabungan dari suatu metode.

5. Ketidakpastian diperluas

Tahap akhir dari penentuan ketidakpastian gabungan adalah penentuan ketidakpastian diperluas. Nilai ketidakpastian diperluas diperoleh dari nilai hasil perkalian antara nilai ketidakpastian gabungan dengan faktor cakupan (K). Nilai K selang kepercayaan 95% adalah 2, dan jika menggunakan kepercayaan 99% maka menggunakan nilai 3 (Rohman, 2014).