

Bab II

Tinjauan Pustaka

2.1 Sulfat pada Air Laut

Air laut merupakan bahan utama dari pembuatan garam. Menurut Prastuti (2017) air laut adalah campuran dari 96,5% air murni dan kadar garam rata-rata 3,5%, yang berarti dalam 1 liter air laut mengandung 35 gram garam. Perbedaan antara air laut dan air tawar yaitu pada air laut terdapat kandungan garam, sedangkan air tawar tidak terdapat kandungan garam.

Air laut yang belum dimurnikan mengandung berbagai zat pengotor seperti sulfat (SO_4^{2-}), magnesium (Mg^{2+}), kalsium (Ca^{2+}), dan lain-lain. Persentase kadar rata-rata zat pengotor dalam satu liter air laut yaitu sulfat (8%), magnesium (4%), dan kalsium (1%) (Muaya dkk., 2015:562). Kandungan sulfat pada air laut sangat tinggi sebagai bahan pengotor. Menurut Nuzula dkk. (2021) sulfat berasal dari sulfur yang mengalami degradasi secara anaerob, sehingga terjadi pembentukan hidrogen sulfida (H_2S). Sulfur berasal dari limbah peternakan, limbah pertanian, limbah industri, dan daerah perkotaan. Hidrogen sulfida akan mengalami oksidasi oleh bakteri yang telah berfotosintesis dan menghasilkan sulfat, kemudian sulfat akan dibawa oleh air hujan dan air tanah yang menuju muara sungai dan dialirkan menuju ke laut. Kadar sulfat yang berlebihan (> 500 mg/liter) dapat menimbulkan gangguan pada sistem pencernaan (Rumahorbo, 2017).

2.2 Pemurnian Garam Air Laut

Keberadaan pengotor air laut dapat menurunkan kualitas garam, sehingga diperlukan suatu cara atau metode untuk menurunkan kandungan pengotor dalam garam air laut atau pemurnian garam air laut. Proses pemurnian garam air laut pada umumnya yaitu proses pencucian, pelarutan, pengendapan, penguapan, dan kristalisasi (Martina dan Witono, 2014). Pengotor yang ada dalam permukaan kristal dapat dikurangi dengan proses pencucian, tetapi pengotor yang ada dalam kisi kristal dapat dikurangi dengan proses pelarutan, pengendapan, dan rekristalisasi (Martina dan Witono, 2015:36). Kekurangan dari proses pencucian dengan

menggunakan air yaitu dapat menghilangkan garam 10 – 40% (Wilarso, 1996; Sedivy, 2006).

Menurut Martina dan Witono (2014) kekurangan dari proses pencucian menggunakan larutan garam jenuh yaitu teknologi untuk proses tersebut belum berkembang. Kekurangan dari proses pengendapan yaitu membutuhkan tambahan bahan kimia dan maksimal kemurnian garam hanya 96,46%. Kekurangan dari proses penguapan dan kristalisasi yaitu membutuhkan energi panas, proses cenderung lama, membutuhkan alat khusus berupa evaporator atau kristaliser, dan dapat menghilangkan garam lebih dari 10%. Proses pemurnian garam air laut dapat dilakukan dengan menggunakan salah satu bahan penyerap kadar sulfat sebagai pengotor garam air laut yaitu karbon aktif.

2.3 Pengertian Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu senyawa karbon dengan rumus kimia (C) yang berbentuk *amorf* atau tidak teratur, dan diperoleh dari bahan yang mengandung karbon atau arang yang melalui perlakuan khusus untuk memperoleh permukaan yang luas (Sandi dan Astuti, 2014:115). Menurut Dewi dkk. (2020:13) karbon aktif merupakan senyawa karbon dengan daya adsorpsi yang telah ditingkatkan melalui proses aktivasi dan luas permukaannya berkisar antara 300 m²/g – 3500 m²/g dengan daya atau tingkat serap yang sangat besar yaitu berkisar antara 25% - 100% terhadap berat karbon aktif. Proses aktivasi dilakukan dengan menghilangkan hidrogen, gas, dan air pada permukaan karbon yang menimbulkan perubahan fisik pada permukaan dengan terbentuknya pori-pori baru yang disebabkan oleh pengikisan atom karbon melalui proses pemanasan ataupun oksidasi (Pujiyanto, 2010).

Menurut Dewi dkk. (2020:13) karbon aktif terbagi menjadi dua tipe atau jenis, yaitu karbon aktif sebagai pemucat dan sebagai penyerap uap. Karbon aktif sebagai pemucat memiliki bentuk *powder* atau bubuk yang sangat halus dengan pori yang berdiameter mencapai 1000 amstrom dan digunakan pada fase cair, yang berguna untuk melepaskan pelarut dari zat pengganggu, memindahkan zat pengganggu yang membuat bau dan warna yang tidak sesuai harapan, dan penggunaan pada industri kimia serta industri baru. Karbon aktif sebagai penyerap

uap memiliki bentuk granular dan pelet yang sangat keras dengan pori yang berdiameter mencapai 10 – 200 amstrom dan digunakan pada fase gas yang berguna untuk mendapatkan kembali pelarut, pemisahan, katalis, dan pemurnian pada gas.

Menurut Dewi dkk. (2020:14) karbon aktif dibuat dari dua proses atau tahap yaitu karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonasi yaitu tahap pembentukan karbon dari bahan baku dan dapat dikatakan sempurna, jika melalui pemanasan pada suhu antara 400 – 600°C. Proses aktivasi merupakan tahap pengubahan karbon dengan daya serap yang rendah menjadi karbon dengan daya serap yang tinggi. Kandungan sulfat dapat dikurangi dengan melakukan pengurangan kadar sulfat dari bahan baku garam yaitu air laut. Salah satu bahan penyerap yang umum digunakan yaitu karbon aktif. Bahan dari karbon aktif yaitu bahan yang mengandung karbon, seperti batu bara, limbah pinus, *petrol coke*, kayu, tempurung kelapa, dan tempurung kelapa sawit (Pujiyanto, 2010). Penyerapan sulfat menggunakan karbon aktif dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu sifat serapan, jenis karbon aktif, kuantitas karbon aktif, temperatur, pH atau derajat keasaman, dan waktu pengadukan.

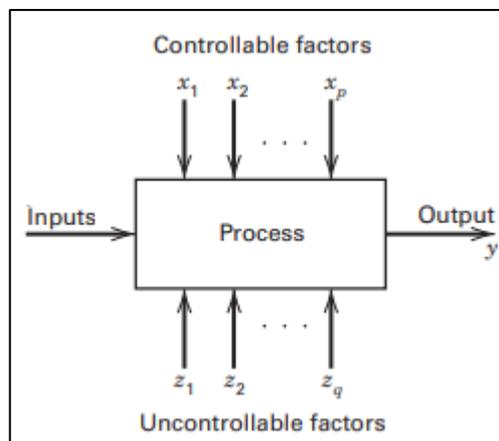
2.4 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau pH merupakan derajat keasaman yang dipakai untuk menjelaskan tingkat kebasaaan atau tingkat keasaman dari suatu larutan (Karangan dkk., 2019:67). Menurut Sholehah (2018:11) derajat keasaman yaitu salah satu faktor yang dapat memengaruhi proses penyerapan. Keasaman dapat memengaruhi muatan di dalam situs aktif atau gugus fungsi dengan ion H^+ akan beradu dengan kation untuk membentuk ikatan dengan situs aktif penyerap, selain itu derajat keasaman juga dapat memengaruhi muatan situs aktif, seperti gugus karboksil yang ada pada permukaan karbon aktif.

2.5 Desain Eksperimen

Kegiatan eksperimen sering dilakukan dalam berbagai bidang pada kehidupan sehari-hari. Tujuan kegiatan eksperimen yaitu memperoleh pengetahuan atau informasi terkait kinerja atau performansi di suatu sistem atau proses. Hal yang ingin diperoleh dari melakukan kegiatan eksperimen adalah memperoleh data atau informasi terkait kinerja suatu proses atau sistem. Berdasarkan kinerja proses atau

sistem, dapat ditentukan setiap bagian dari proses atau sistem yang dapat ditingkatkan kinerjanya dengan melakukan rekayasa secara kontinu. Berbagai hal dalam proses atau sistem saling terhubung dan terkombinasi, yaitu kombinasi dari peralatan atau mesin, manusia, metode, dan sumber daya yang lain. Kombinasi tersebut mengubah variabel *input* hingga menjadi variabel *output* yang dapat diamati responnya. Beberapa dari variabel *input* yang memberikan pengaruh kepada variabel *output* dapat dikontrol, tetapi sebagian lainnya tidak dapat dikontrol. Proses yang terjadi dalam desain eksperimen dapat dijelaskan seperti berikut.



Gambar 2.1 Model Umum dari Suatu Proses (Montgomery, 2017)

Berdasarkan model umum dari suatu proses tersebut, proses dapat divisualisasikan sebagai kombinasi dari operasi, mesin, metode, orang, dan sumber daya lain yang mengubah beberapa variabel *input* (*material*) menjadi variabel *output* yang mempunyai satu atau lebih variabel respon yang dapat diteliti (Montgomery, 2017). Beberapa variabel proses dan sifat bahan (X_1, X_2, \dots, X_p) dapat dikontrol, sedangkan variabel lain seperti faktor lingkungan atau beberapa sifat bahan (Z_1, Z_2, \dots, Z_q) tidak dapat dikontrol (walaupun dapat dikontrol untuk tujuan tertentu dari sebuah uji atau tes).

Menurut Montgomery (2017) tujuan percobaan dapat mencakup hal-hal seperti menentukan variabel yang paling berpengaruh terhadap respon y . Menentukan pengaturan x yang berpengaruh sehingga respon y hampir selalu mendekati nilai nominal yang diinginkan. Menentukan pengaturan x yang berpengaruh sehingga variabilitas di dalam respon y kecil. Menentukan pengaturan

x yang berpengaruh sehingga efek dari variabel tak terkendali (*uncontrollable variables*) Z_1, Z_2, \dots, Z_q dapat diminimalkan.

Hasil eksperimen yang efektif, efisien, dan valid dapat tercipta jika dilakukan perencanaan dan perancangan eksperimen yang baik dan benar. *Design of Experiment* atau desain eksperimen merupakan salah satu metode atau kajian dari perencanaan dan perancangan eksperimen yang umum digunakan dalam penelitian. *Design of Experiment* adalah suatu cara atau teknik statistik yang dipakai dalam kajian atau metode eksperimen untuk meningkatkan kualitas produk dan proses (Costa dkk., 2006).

2.6 Rancangan Acak Lengkap dan Kelompok

Menurut Gaspersz (1991) Rancangan Acak Lengkap (RAL) adalah rancangan yang paling sederhana dari rancangan percobaan baku lainnya. Konsep dari RAL yaitu apabila kita mempelajari atau meneliti t buah perlakuan dengan memakai r satuan percobaan untuk semua perlakuan atau memakai total rt satuan percobaan, maka RAL digunakan untuk mengalokasikan t perlakuan dengan acak kepada rt satuan percobaan. RAL digunakan jika terdapat kasus yaitu bahan percobaan yang relatif homogen dan jumlah perlakuan yang terbatas.

Menurut Gaspersz (1991) Rancangan Acak Kelompok (RAK) adalah salah satu bentuk dari rancangan yang digunakan secara umum atau luas di berbagai bidang penyelidikan industri, pertanian, dan sebagainya. RAK memiliki ciri yaitu adanya kelompok dengan jumlah yang sama, dimana setiap kelompok diberikan perlakuan. RAK memperhatikan perlakuan dan pengaruh galat atau *error* dari kelompok yang berbeda, serta satuan percobaan tidak perlu bersifat homogen karena setiap satuan percobaan dikelompokkan dalam kelompok-kelompok tertentu dan membuat satuan percobaan dalam kelompok tersebut relatif homogen. Pengelompokan oleh RAK dilakukan dengan membuat keragaman dalam kelompok menjadi sekecil-kecilnya dan keragaman antar kelompok menjadi sebesar-besarnya, oleh sebab itu pengelompokan dengan RAK yang tepat dapat meningkatkan perbedaan antar kelompok dan membuat satuan percobaan dalam kelompok lebih homogen.

2.7 Pengacakan

Menurut Muttaqin (2019:34) pengacakan yaitu sebuah usaha yang penting dilakukan untuk eksperimen agar terlindungi dari bias-bias yang bisa merusak atau mengganggu hasil eksperimen. Menurut Gaspersz (1991) pengacakan merupakan suatu proses atau langkah yang membuat hukum-hukum dari peluang dapat diterapkan, sehingga analisis data menjadi benar. Pengacakan dapat dilakukan dengan cara undian atau menggunakan tabel angka acak. Pengacakan dapat membuat setiap satuan percobaan memiliki peluang yang sama dalam menerima suatu perlakuan.

Menurut Gaspersz (1991) pengacakan dimulai dengan membagi daerah atau satuan percobaan dalam beberapa kelompok sebagai jumlah ulangan, kemudian setiap kelompok dibagi ke dalam jumlah yang sesuai banyaknya perlakuan yang dicobakan. Prosedur pengacakan dapat dilakukan dengan memilih jumlah angka acak dalam susunan tiga digit yang sesuai dengan jumlah perlakuan, misalnya 6 angka acak dengan susunan tiga digit untuk 6 perlakuan dengan perulangan sebanyak 4 kali. Pengacakan dengan angka acak dalam susunan tiga digit dapat dilakukan dengan mengikuti panduan atau teladan yaitu dengan menempatkan ujung pensil atau ujung benda lainnya secara acak pada tabel angka acak, dan ujung pensil atau ujung benda tersebut tertuju pada perpotongan antara baris dan kolom seperti contohnya perpotongan baris ke-32 dan kolom ke-62. Pembacaan angka acak dari tabel angka acak yaitu secara vertikal dari perpotongan antara baris dan kolom untuk mendapatkan enam angka dalam susunan tiga digit.

Setelah mendapatkan enam angka acak dalam susunan tiga digit, kemudian menentukan peringkat (*rank*) yang dimulai dari peringkat pertama dengan angka terkecil hingga peringkat terakhir atau keenam dengan angka terbesar. Tahapan dari pengacakan tersebut dilakukan untuk setiap kelompok (kelompok 1, kelompok 2, dst). Proses pengacakan pada RAK berbeda dengan RAL dengan proses pengacakan pada RAL dilakukan secara lengkap atau penuh, maka proses pengacakan pada RAK dilakukan dengan terpisah dalam masing-masing kelompok. Menurut Montgomery (2017) efek dari *uncontrollable factors* atau faktor yang tidak terkendali mungkin akan diseimbangkan dengan pengacakan.

2.8 Replikasi

Replikasi yaitu banyaknya pengulangan pada eksperimen yang dilakukan untuk perlakuan yang sama dan digunakan untuk meningkatkan kepresisian dari hasil eksperimen (Muttaqin, 2019:34).

2.9 Pemblokiran (*Blocking*)

Pemblokiran atau *blocking* merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengelompokkan setiap perlakuan ke dalam grup atau *batch* (Muttaqin, 2019). Pemblokiran atau pengelompokan pada RAK dilakukan untuk membuat keragaman menjadi sekecil mungkin dalam kelompok dan membuat keragaman menjadi sebesar mungkin antar kelompok (Gaspersz, 1991).

2.10 Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data memiliki tujuan untuk mengetahui jumlah data hasil pengukuran dengan tingkat ketelitian dan tingkat kepercayaan telah memenuhi atau tidak memenuhi (Rusdianto, 2011). Pengaruh dari tingkat kepercayaan dan tingkat ketelitian yaitu bahwa semakin tinggi tingkat kepercayaan dan tingkat ketelitian, maka semakin banyak pengukuran yang dilakukan dan dibutuhkan. Perhitungan Slovin menjadi perhitungan yang dapat digunakan untuk menghitung ukuran dari sampel suatu populasi dengan tingkat keakuratan yang diinginkan peneliti (Kalimba dkk., 2016). Berikut ini perhitungan Slovin dengan keterangannya:

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \quad (2.1)$$

Keterangan:

n : jumlah sampel

N : jumlah populasi

e : toleransi *error*

Menurut Purnomo (2004) pengujian kecukupan data untuk data parametrik dilakukan dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$N' = \left(\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right)^2 \quad (2.2)$$

Keterangan:

N' : total data teoritis

x_i : jumlah data

k : tingkat kepercayaan

s : tingkat ketelitian (1-10%)

Tingkat kepercayaan (k) terdiri dari tiga jenis tingkatan, yaitu tingkat kepercayaan 99% dengan nilai k yaitu 2,58 atau 3. Tingkat kepercayaan 95% dengan nilai k yaitu 1,96 atau 2. Tingkat kepercayaan 90% dengan nilai k yaitu 1. Jika nilai $N' < N$, maka data dapat dinyatakan cukup, tetapi jika nilai $N' > N$ maka data dinyatakan tidak cukup dan membutuhkan penelitian tambahan (Amri, 2014).

2.11 Uji Normalitas Data

Uji normalitas data merupakan uji yang bertujuan untuk mengetahui apakah setiap variabel dependen, variabel independen, atau kedua variabel tersebut berdistribusi dengan normal atau mendekati normal (Umar, 2011:181). Uji normalitas dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*, yang memiliki kriteria yaitu jika hasil signifikansi lebih besar dari 0,05, maka residual berdistribusi normal (Sugiyono dan Susanto, 2015:323).

Menurut Usmadi (2020) Uji *Kolmogorov-Smirnov* dapat dilakukan dengan mengajukan hipotesis terlebih dahulu seperti berikut.

1. H_0 : $f(x) = \text{normal}$

2. H_1 : $f(x) \neq \text{normal}$

Berikut ini beberapa tahapan atau langkah-langkah dalam melakukan uji *Kolmogorov-Smirnov* (Usmadi, 2020):

1. Menentukan rata-rata dan standar deviasi dari data.
2. Membuat susunan data yang dimulai dari data terkecil dengan diikuti frekuensi setiap data dan frekuensi kumulatif (F) dari setiap skor. Nilai Z (skor) dijabarkan dalam rumus seperti berikut.

$$Z (\text{skor}) = \frac{X - \bar{x}}{\sigma} \quad (2.3)$$

Keterangan:

\bar{x} : rata-rata

σ : simpangan baku

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

x_i : nilai x ke-i

n : ukuran sampel

3. Menentukan probabilitas dibawah nilai Z pada tabel Z ($P \leq Z$).
4. Menentukan nilai dari selisih setiap baris $\frac{F}{n} = Fz$ dengan $P \leq Z$ (nilai α_2) dan selisih setiap baris $\frac{f}{n}$ dengan α_2 (nilai α_1).
5. Membandingkan nilai tertinggi dari α_1 dengan menggunakan tabel Kolmogorov-Smirnov.
6. Menentukan kriteria pengujian
 - a. Menerima H_0 jika α_1 maksimal $\leq D_{\text{tabel}}$
 - b. Menolak H_0 jika α_1 maksimal $> D_{\text{tabel}}$

2.12 Uji Homogenitas

Menurut Usmadi (2020) Uji homogenitas merupakan uji yang digunakan untuk mengetahui beberapa varian populasi apakah sama atau tidak. Uji homogenitas dilakukan jika kelompok data berdistribusi normal. Uji homogenitas menunjukkan adanya perbedaan yang terjadi pada uji statistik parametrik terjadi karena adanya perbedaan antar kelompok, bukan karena perbedaan dalam kelompok. Beberapa uji yang dapat dilakukan untuk uji homogenitas variansi yaitu uji *Harley*, uji *Cochran*, uji *Levene*, dan uji *Bartlett*. Uji homogenitas yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah uji *Bartlett*. Menurut Payadnya dan Jayantika

(2018) uji *Bartlett* yaitu uji untuk pengujian kesamaan varians atau ragam. Uji *Bartlett* digunakan untuk menguji kelompok atau sampel yang lebih dari 2. Uji *Bartlett* dibutuhkan sebagai syarat untuk menggunakan uji statistik seperti ANOVA. Uji *Bartlett* bisa digunakan jika data yang dipakai sudah normal atau telah diuji dengan uji normalitas.

Menurut Usmadi (2020) uji *Bartlett* sangat peka terhadap ketidaknormalan distribusi data dan membutuhkan uji normalitas distribusi data atau skor dari masing-masing kelompok. Menurut Nuryadi dkk. (2017) hipotesis yang diajukan dan langkah-langkah uji *Bartlett* yaitu sebagai berikut.

1. Hipotesis
 - a. $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2$
 - b. $H_1 : \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$, paling sedikit salah satu tanda tak sama
2. Langkah-langkah uji *Bartlett*
 - a. Menghitung derajat bebas (db) setiap kelompok.
 - b. Menghitung varians (s) setiap kelompok.
 - c. Menghitung nilai $\log S^2$ untuk setiap kelompok.
 - d. Menghitung nilai perkalian antara db dengan $\log S^2$ untuk setiap kelompok.
 - e. Menghitung nilai varians gabungan seluruh kelompok dengan rumus seperti berikut.

$$S^2_{gab} = \frac{\sum db \cdot Si^2}{\sum db} \quad (2.5)$$

- f. Menghitung nilai *Bartlett* dengan rumus seperti berikut.

$$B = \sum db (\log S^2_{gab}) \quad (2.6)$$

- g. Menghitung nilai χ^2 (Chi-Square) dengan rumus seperti berikut.

$$\chi^2 = (\ln 10) [B - (\sum db \log Si^2)] \quad (2.7)$$

S_i^2 merupakan varians setiap kelompok data. Dk merupakan derajat bebas setiap kelompok atau (n-1). B merupakan nilai *Bartlett*.

h. Membandingkan nilai *Chi-Square* hitung dengan nilai *Chi-Square* tabel. Kriteria kehomogenan ditentukan jika nilai *Chi-Square* hitung lebih besar dari nilai *Chi-Square* tabel. Kriteria pengujian dari uji *Bartlett* yaitu seperti berikut.

- Jika $\chi^2_{\text{hitung}} \geq \chi^2_{\text{tabel}}$, maka menolak H_0
- Jika $\chi^2_{\text{hitung}} < \chi^2_{\text{tabel}}$, maka menerima H_0

2.13 Model Matematika Rancangan Acak Kelompok

Menurut Gaspersz (1991) model matematika dari 3 faktor (A, B, dan C) dengan permisalan faktor A (taraf i), faktor B (taraf j), dan faktor C (taraf k) yang menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) yaitu seperti berikut:

$$Y_{ijkl} = u + K_l + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \quad (2.8)$$

Berikut adalah keterangan dari model awal eksperimen dengan metode *general full factorial design*:

- Y_{ijkl} : respon dari kelompok ke-l, dengan efek faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j, dan faktor C taraf ke-k.
- u : efek rata-rata keseluruhan data
- K_l : efek kelompok ke-l
- A_i : efek faktor A taraf ke-i
- B_j : efek faktor B taraf ke-j
- C_k : efek faktor C taraf ke-k
- AB_{ij} : efek interaksi faktor A taraf ke-i dan faktor B taraf ke-j
- AC_{ik} : efek interaksi faktor A taraf ke-i dan faktor C taraf ke-k
- BC_{jk} : efek interaksi faktor B taraf ke-j dan faktor C taraf ke-k
- ABC_{ijk} : efek interaksi faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j, dan faktor C taraf ke-k
- ϵ_{ijkl} : efek *error* percobaan pada kelompok ke-l dengan efek faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j, dan faktor C taraf ke-k.

Berikut ini rancangan umum dari percobaan faktorial tiga faktor:

Tabel 2.1 Rancangan Acak Kelompok Faktorial Tiga Faktor

		C1	C2	...	C _k
A1	B1	X ₁₁₁	X ₁₁₂	...	X _{11k}
	B2	X ₁₂₁	X ₁₂₂	...	X _{12k}

	B _j	X _{1j1}	X _{1j2}	...	X _{1jk}
A2	B1	X ₂₁₁	X ₂₁₂	...	X _{21k}
	B2	X ₂₂₁	X ₂₂₂	...	X _{22k}

	B _j	X _{2j1}	X _{2j2}	...	X _{2jk}
...
A _i	B1	X _{i11}	X _{i12}	...	X _{i1k}
	B2	X _{i21}	X _{i22}	...	X _{i2k}

	B _j	X _{ij1}	X _{ij2}	...	X _{ijk}

(Sumber: Chairunisaa, 2013)

2.14 Metode *Full Factorial*

Pengolahan data hasil eksperimen merupakan hal yang penting untuk menguji kevalidan data eksperimen. Respon hasil eksperimen atau variabel *output* dipengaruhi oleh beberapa faktor. Respon yang valid dan optimal diperoleh dari faktor-faktor yang memiliki pengaruh besar dalam eksperimen. Faktor yang memiliki pengaruh besar dengan respon yang valid dan optimal, dapat diketahui dengan menggunakan metode desain eksperimen *full factorial*. Desain eksperimen *full factorial* adalah transformasi dari *true experimental design* yang mengamati adanya kemungkinan variabel moderator yang memengaruhi variabel independen atau perlakuan terhadap hasil variabel atau dependen (Sugiyono, 2017: 113). Metode desain eksperimen *full factorial* digunakan untuk melihat hasil yang optimal dari respon dan faktor yang paling berpengaruh kepada pengurangan kadar sulfat pada air laut.

Menurut Hanafiah (2011:112) keuntungan dari percobaan faktorial daripada percobaan faktor tunggal adalah percobaan faktorial merangkum beberapa percobaan faktor tunggal yang berarti lebih efektif dan efisien dalam hal bahan, waktu, tenaga kerja, modal, dan lain-lain. Berikutnya adalah jika terdapat dua faktor seperti faktor A dan B, maka faktor A diterapkan dalam setiap tingkatan faktor B dan faktor B diterapkan dalam setiap tingkatan faktor A, maka terjadi pengulangan pada setiap faktor A dan faktor B. Selanjutnya yaitu percobaan faktor tunggal tidak dapat mengetahui bagaimana pengaruh faktor utama yang telah dikombinasikan, tetapi dalam percobaan faktorial dapat mengetahui pengaruh atau interaksi dari data hasil percobaan.

Metode *general full factorial design* adalah suatu metode rancangan faktorial yang memiliki k faktor, dengan setiap faktor yang terdiri dari p taraf. Jumlah dari percobaan atau *run* yang dibutuhkan dalam *general full factorial design* yaitu sebesar p^k .

2.15 Model Metode *Full Factorial*

Menurut Gaspersz (1991) model metode *full factorial* dengan tiga faktor (A, B, dan C) adalah model tetap (faktor A, B, dan C bersifat tetap). Model kedua yaitu model acak (faktor A, B, dan C bersifat acak). Model ketiga yaitu model campuran (faktor A dan B bersifat tetap, dan faktor C bersifat acak). Model keempat yaitu model campuran (faktor A dan C bersifat tetap, dan faktor B bersifat acak). Model kelima yaitu model campuran (faktor B dan C bersifat tetap, dan faktor A bersifat acak). Model keenam yaitu model campuran (faktor A bersifat tetap, faktor B dan C bersifat acak). Model ketujuh yaitu model campuran (faktor B bersifat tetap, faktor A dan C bersifat acak). Model kedelapan yaitu model campuran (faktor C bersifat tetap, faktor A dan B bersifat acak).

2.16 Asumsi

Menurut Gaspersz (1991) asumsi yang melandasi analisis ragam (ANOVA) dan perlu diperhatikan agar pengujian menjadi valid atau sah adalah pengaruh lingkungan dan pengaruh harus bersifat aditif. Sebagai contoh, pada suatu

percobaan yang menggunakan rancangan acak kelompok dengan pengamatan Y_{ij} pada perlakuan ke- i dari kelompok ke- j yang dinyatakan sebagai berikut.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad (2.9)$$

Keterangan dari model matematika tersebut yaitu, μ adalah nilai tengah umum, τ_i yaitu pengaruh dari perlakuan ke- i , β_j yaitu pengaruh dari kelompok ke- j , dan ϵ_{ij} yaitu pengaruh galat (*error*) percobaan pada kelompok ke- j yang mendapat perlakuan ke- i . Setiap komponen dalam model matematika tersebut harus aditif. Aditif yaitu bersifat dapat dijumlahkan sesuai dengan model matematika tersebut. Setiap rancangan percobaan memiliki model matematika atau model linear aditif. Model yang tidak bersifat aditif dapat dilakukan transformasi, seperti model yang bersifat multiplikatif atau model perkalian. Transformasi logaritmik (*log*) bisa dilakukan untuk mengubah model multiplikatif menjadi model linear aditif.

Asumsi kedua yaitu galat (*error*) percobaan seluruhnya harus bebas, yang berarti peluang bahwa galat salah satu percobaan yang memiliki nilai tertentu harus tidak tergantung pada nilai-nilai galat untuk percobaan yang lainnya. Asumsi ketiga yaitu galat (*error*) percobaan harus memiliki ragam bersama atau *common variance*, contohnya yaitu pada percobaan dengan rancangan acak lengkap, komponen galat yang disebabkan oleh beberapa perlakuan seluruhnya harus diduga dari ragam populasi bersama atau *common population variance*. Asumsi keempat yaitu galat (*error*) percobaan harus menyebar dengan normal.

Asumsi ini berlaku untuk uji nyata dan tidak berlaku untuk pendugaan komponen ragam. Jika sebaran pada galat percobaan terlihat tidak normal, maka komponen galat perlakuan cenderung menjadi fungsi dari nilai tengah perlakuan. Apabila hubungan fungsional diketahui, maka transformasi dapat ditentukan sehingga dapat membuat galat tersebut menyebar dan mendekati sebaran normal. Analisis ragam dapat dilakukan pada data transformasi sehingga galat akan menjadi homogen.

2.17 Hipotesis

Menurut Gaspersz (1991) hipotesis untuk tiga faktor (faktor A, faktor B, dan faktor C) yang diuji dalam model tetap adalah hipotesis untuk tiga faktor dengan $H_0 : (ABC)_{ijk} = 0$, yang berarti bahwa tidak ada pengaruh dalam interaksi antara faktor A, B, dan C terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk tiga faktor dengan $H_1 : (ABC)_{ijk} \neq 0$, yang berarti bahwa ada pengaruh dalam interaksi antara faktor A, B, dan C terhadap respon yang diteliti.

Hipotesis untuk dua faktor dengan $H_0 : (AB)_{ij} = 0$, yang berarti bahwa tidak ada pengaruh dalam interaksi antara faktor A dan B terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk dua faktor dengan $H_1 : (AB)_{ij} \neq 0$, yang berarti bahwa ada pengaruh dalam interaksi antara faktor A dan B terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk dua faktor dengan $H_0 : (AC)_{ik} = 0$, yang berarti bahwa tidak ada pengaruh dalam interaksi antara faktor A dan C terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk dua faktor dengan $H_1 : (AC)_{ik} \neq 0$, yang berarti bahwa ada pengaruh dalam interaksi antara faktor A dan C terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk dua faktor dengan $H_0 : (BC)_{jk} = 0$, yang berarti bahwa tidak ada pengaruh dalam interaksi antara faktor B dan C terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk dua faktor dengan $H_1 : (BC)_{jk} \neq 0$, yang berarti bahwa ada pengaruh dalam interaksi antara faktor B dan C terhadap respon yang diteliti.

Hipotesis untuk satu faktor dengan $H_0 : (A)_i = 0$, yang berarti bahwa tidak ada pengaruh dalam interaksi antara faktor A terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk satu faktor dengan $H_1 : (A)_i \neq 0$, yang berarti bahwa ada pengaruh dalam interaksi antara faktor A terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk satu faktor dengan $H_0 : (B)_j = 0$, yang berarti bahwa tidak ada pengaruh dalam interaksi antara faktor B terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk satu faktor dengan $H_1 : (B)_j \neq 0$, yang berarti bahwa ada pengaruh dalam interaksi antara faktor B terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk satu faktor dengan $H_0 : (C)_k = 0$, yang berarti bahwa ada pengaruh dalam interaksi antara faktor C terhadap respon yang diteliti. Hipotesis untuk satu faktor dengan $H_1 : (C)_k \neq 0$, yang berarti bahwa ada pengaruh dalam interaksi antara faktor C terhadap respon yang diteliti.

Berdasarkan hipotesis tersebut, dapat diketahui bahwa perlu dilakukan pengujian terhadap hipotesis tersebut dengan menggunakan nilai *p-value* dan nilai α . Berikut ini pengujian hipotesis yang digunakan:

1. Jika *p-value* $\leq \alpha$, maka menolak H_0 atau menerima H_1
2. Jika *p-value* $> \alpha$, maka menerima H_0 atau menolak H_1

2.18 Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA merupakan singkatan dari *Analysis of Variance* atau analisis varians. ANOVA adalah bagian dari metode statistika yang termasuk dalam analisis komparatif lebih dari dua (Riduwan, 2008). Berikut adalah tabel ANOVA untuk pengujian statistik seperti pada tabel 2.1:

Tabel 2.2 ANOVA Desain Faktorial 3 Faktor

Sumber Variansi (SV)	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	Rata-rata Kuadrat yang Diharapkan	F _{obs}
Kelompok (Blocks)	SS _{Blocks}	b - 1	$\frac{SS_{Blocks}}{b - 1}$	-	-
A	SS _A	$\alpha - 1$	MS _A	$\sigma^2 + \frac{bcn \sum \alpha_i^2}{a-1}$	$F_0 = \frac{MSA}{MSE}$
B	SS _B	b - 1	MS _B	$\sigma^2 + \frac{acn \sum \beta_j^2}{b-1}$	$F_0 = \frac{MSB}{MSE}$
C	SS _C	c - 1	MS _C	$\sigma^2 + \frac{abn \sum \gamma_k^2}{c-1}$	$F_0 = \frac{MSC}{MSE}$
AB	SS _{AB}	$(\alpha - 1)(b - 1)$	MS _{AB}	$\sigma^2 + \frac{cn \sum \sum (\alpha\beta)_{ij}^2}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MSAB}{MSE}$
AC	SS _{AC}	$(\alpha - 1)(c - 1)$	MS _{AC}	$\sigma^2 + \frac{bn \sum \sum (\alpha\gamma)_{ik}^2}{(a-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MSAC}{MSE}$
BC	SS _{BC}	$(b - 1)(c - 1)$	MS _{BC}	$\sigma^2 + \frac{an \sum \sum (\beta\gamma)_{jk}^2}{(b-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MSBC}{MSE}$
ABC	SS _{ABC}	$(\alpha - 1)(b - 1)(c - 1)$	MS _{ABC}	$\sigma^2 + \frac{n \sum \sum \sum (\alpha\beta\gamma)_{ijk}^2}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MSABC}{MSE}$
Error	SS _E	n α b c - α b c	MS _E	σ^2	-
Total	SS _T	n α b c - 1	-	-	-

(Sumber: Montgomery, 2017)

Menurut Montgomery (2017) penjelasan dari jumlah kuadrat atau *sum of square* sebagai berikut:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} \quad (2.10)$$

$$SS_{blocks} = \frac{1}{a(treatments)} \sum_{j=1}^{b(blocks)} y_{.j}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N} \quad (2.11)$$

$$SS_A = \frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^a y_{i\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} \quad (2.12)$$

$$SS_B = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b y_{.j\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} \quad (2.13)$$

$$SS_C = \frac{1}{abn} \sum_{k=1}^c y_{\dots k}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} \quad (2.14)$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - SSA - SSB \quad (2.15)$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c y_{i\dots k}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - SSA - SSC \quad (2.16)$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{.jk\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - SSB - SSC \quad (2.17)$$

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{ijk\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - SSA - SSB - SSC - SSAB - SSAC - SSBC \quad (2.18)$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \quad (2.19)$$

Analisis keragaman atau ANOVA dibuat dengan membandingkan nilai *p-value* dengan α pada tingkat kepercayaan 95%. Jika nilai *p-value* $\leq \alpha$, maka menolak

H_0 atau menerima H_1 , yang berarti adanya pengaruh dalam interaksi antara faktor terhadap respon yang diteliti. Jika $p\text{-value} > \alpha$, maka menerima H_0 atau menolak H_1 , yang berarti tidak ada pengaruh dalam interaksi antara faktor terhadap respon yang diteliti.

2.19 Uji Pembandingan Berganda

Berdasarkan hasil dari ANOVA, maka dapat ditentukan keputusan dari setiap perlakuan dan kombinasi antar perlakuan melalui pengujian perlakuan percobaan dengan uji $p\text{-value}$ dan α . Jika $p\text{-value} \leq \alpha$, maka menolak H_0 atau menerima H_1 yang artinya bahwa paling sedikit terdapat dua nilai tengah (mean) perlakuan yang berbeda dan perlu dilakukan uji lanjutan untuk mengetahui perbedaan apa saja yang ada pada nilai tengah (mean) perlakuan tersebut. Uji pembandingan berganda bertujuan untuk mengetahui dan melacak nilai tengah (mean) perlakuan yang berbeda jika hipotesis nol atau H_0 ditolak. Jenis-jenis prosedur uji pembandingan berganda adalah sebagai berikut.

Menurut Usmadi (2015) uji *Tukey* atau uji beda nyata jujur merupakan uji yang digunakan untuk membandingkan semua pasangan rata-rata dari perlakuan ketika uji analisis varian atau ragam telah dilakukan. Pengujian dengan uji *Tukey* pada umumnya digunakan jika data yang dibandingkan berasal dari dua kelompok sampel dengan jumlah yang sama. Syarat untuk pengujian menggunakan uji *Tukey* yaitu ukuran kelompok harus sama semua atau diratakan dengan rerata harmonik. Uji *Tukey* atau Beda Nyata Jujur (BNJ) dilakukan jika perlakuan memiliki pengaruh nyata (*) atau sangat nyata (**). Jenis pengujian dengan uji *Tukey* terdapat dua jenis, yaitu jumlah dalam kelompok (T) dan rata-rata dalam kelompok (X). Menurut Gaspersz (1991) uji *Tukey* dapat digunakan untuk menguji seluruh kombinasi pasangan nilai tengah dari perlakuan. Pemakaian uji *Tukey* sangat sederhana karena hanya memerlukan satu nilai tunggal HSD sebagai pembandingan, dan jika perbedaan atau selisih dua nilai tengah perlakuan lebih besar dari nilai HSD, maka kedua perlakuan tersebut berbeda.

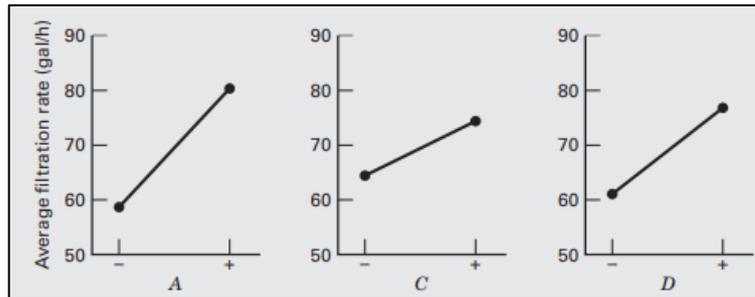
Menurut Gaspersz (1991) uji *Duncan* atau *Duncan's Multiple Range Test* adalah uji pembandingan berganda yang menguji perbedaan di antara seluruh pasangan perlakuan yang tidak memperhatikan jumlah perlakuan yang ada dari

percobaan tersebut dan tetap dapat mempertahankan tingkat nyata yang ditetapkan. Uji *Duncan* dilakukan berdasarkan sekumpulan nilai beda nyata dengan ukuran yang semakin besar tergantung jarak di antara pangkat-pangkat dari dua nilai tengah (mean) yang dibandingkan. Langkah-langkah perhitungan uji *Duncan* adalah menyusun nilai tengah perlakuan dengan urutan menaik, menghitung galat baku dari nilai tengah perlakuan, menghitung wilayah nyata terpendek atau *shortest significant ranges* untuk berbagai wilayah dari nilai tengah, dan mengelompokkan nilai tengah perlakuan menurut nyata dengan statistik.

Menurut Gaspersz (1991) uji *Dunnnett* adalah uji yang digunakan untuk membandingkan nilai tengah dari seluruh perlakuan dengan nilai tengah perlakuan kontrol. Prosedur uji *Dunnnett* membutuhkan sebuah nilai tunggal sebagai nilai pembanding. Nilai tunggal tersebut yaitu terdapat nilai t (*Dunnnett*) dengan memakai db galat (*error df*) dan p yaitu jumlah nilai tengah atau mean perlakuan yang akan dibandingkan (tidak termasuk perlakuan kontrol). Jumlah semua perlakuan (termasuk kontrol) yaitu sebanyak t buah, maka p adalah t dikurangi 1. Jika perlakuan yang diteliti atau dicobakan tidak memiliki jumlah ulangan yang sama, maka nilai *Dunnnett* menggunakan simpangan baku.

2.20 Main Effect Plot

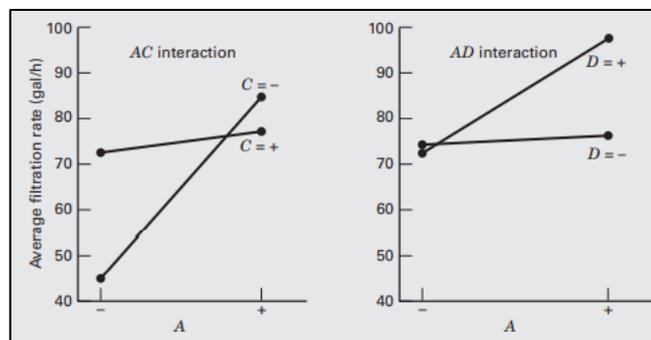
Main effect plot merupakan suatu diagram *plot* yang menjelaskan terjadinya perubahan pada setiap respon karena adanya perubahan dari taraf faktor (Palit dan Aysia, 2014). Menurut Antony (2014:40) *main effect plot* adalah diagram *plot* dari nilai rata-rata respon pada setiap tingkat parameter desain atau variabel proses. Tanda efek utama (*main effect*) memberitahukan tentang arah efek, yaitu apakah rata-rata nilai respon meningkat atau menurun. Besarnya efek utama (*main effect*) memberitahukan tentang kekuatan efeknya. Efek dari parameter desain atau proses dapat berupa efek positif dan efek negatif. Jika efeknya positif, maka dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata respon lebih tinggi pada taraf yang tinggi daripada pengaturan parameter (*parameter setting*) pada taraf yang rendah. Jika efeknya negatif, maka nilai rata-rata respon pada *parameter setting* dengan taraf yang rendah melebihi taraf yang tinggi.



Gambar 2.2 Contoh *Main Effect Plot* (Sumber: Montgomery, 2017)

2.21 *Interaction Plot*

Interaction plot merupakan suatu diagram *plot* yang menjelaskan adanya interaksi. Interaksi terjadi jika faktor gagal dalam memberikan respon yang sama ketika taraf faktor yang lain diubah (Montgomery, 2017). Menurut Antony (2014:41) *interaction plot* adalah alat grafis yang memplotkan nilai rata-rata respon dari dua faktor pada seluruh kemungkinan kombinasi perlakuannya. Garis pada *Interaction plot* adalah faktor-faktor dalam percobaan. Jika kedua garis sejajar, maka tidak ada interaksi di antara faktor-faktor tersebut. Jika kedua garis tidak sejajar, maka terdapat indikasi adanya interaksi di antara faktor-faktor tersebut.



Gambar 2.3 Contoh *Interaction Plot* (Sumber: Montgomery, 2017)

2.22 *Penelitian Terdahulu*

Sudarmono (2010) melakukan penelitian di PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) dengan menggunakan metode *full factorial 2²* dan *principal component analysis*. Objek penelitian yang dipilih yaitu pelayanan dari air bersih oleh PDAM yang masih rendah. Tingkat air bersih yang masih rendah disebabkan oleh kandungan Fe atau besi yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengukur kemampuan dari kombinasi reaktor untuk menurunkan kandungan Fe

dan kekeruhan, menentukan kombinasi dari reaktor yang paling efektif untuk menurunkan kandungan Fe dan kekeruhan. Data yang digunakan dalam penelitian yaitu pengukuran efektivitas, kemampuan dari reaktor filtrasi berupa saringan pasir lambat, dan reaktor penyerap berupa zeolit.

Berdasarkan data hasil penelitian, diketahui bahwa kedua reaktor dapat memberikan kemampuan yang sangat baik untuk menurunkan kandungan Fe dan kekeruhan. Persamaan dari penelitian oleh Sudarmono (2010) dengan penelitian oleh peneliti yaitu menggunakan metode yang sama yaitu metode desain eksperimen *full factorial*. Perbedaan dari penelitian oleh Sudarmono (2010) dengan penelitian oleh peneliti yaitu jumlah faktor yang berbeda dan objek pengotor yang akan dikurangi berbeda.

Salomon dkk. (2015) melakukan penelitian di PT. WLS dengan menggunakan metode atau pendekatan analisis *general factorial design*. Objek penelitian yang diteliti yaitu timbulnya produk cacat pada material *solid surface*. Timbulnya produk cacat disebabkan karena pemindahan produk dan pada saat pengiriman. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui komposisi dari pencetakan produk yang tepat agar dapat meningkatkan ketangguhan material, dan mengetahui pengaruh katalis dan bahan campuran kepada ketangguhan dari material. Data yang digunakan dalam penelitian yaitu jumlah katalis dan bahan campuran yang digunakan untuk menentukan komposisi yang tepat agar dapat meningkatkan ketangguhan material.

Berdasarkan data hasil penelitian, diketahui bahwa jenis dan spesifikasi bahan campuran paling optimal dalam meningkatkan ketangguhan material yaitu $\text{Al}(\text{OH})_3$ dengan spesifikasi HWF50 dengan jumlah bahan katalis sebesar 3 ml. Persamaan dari penelitian oleh Salomon dkk. (2015) dengan penelitian oleh peneliti yaitu menggunakan metode yang sama yaitu metode desain eksperimen *full factorial*. Perbedaan dari penelitian oleh Salomon dkk. (2015) dengan penelitian oleh peneliti yaitu jumlah faktor yang berbeda dan kualitas produk yang diteliti berbeda.