

DISERTASI

**MODEL PENGOLAHAN AIR BAKU DENGAN SISTEM
KOMBINASI FILTER *DOWN FLOW – UP FLOW***

*Raw Water Treatment Model With Combined System
Of Downflow – Upflow Filter*

YOLLY ADRIATI

P0800316416



**PROGRAM STUDI S3 TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

**MODEL PENGOLAHAN AIR BAKU DENGAN SISTEM
KOMBINASI FILTER *DOWN FLOW* – *UP FLOW***

Disertasi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

YOLLY ADRIATI

Kepada

**PROGRAM STUDI S3 TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI**MODEL PENGOLAHAN AIR BAKU DENGAN SISTEM
KOMBINASI FILTER *DOWN FLOW* – *UP FLOW******RAW WATER TREATMEN MODEL WITH COMBINED SYSTEM
OF DOWNFLOW – UPFLOW FILTER***

disusun dan diajukan oleh :

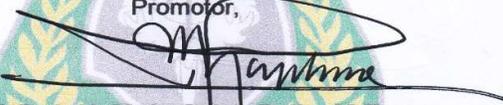
YOLLY ADRIATI**P0800316416**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Doktor Program Studi Doktor Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 30 September 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Promotor,



Prof. Dr. Ir. H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng
NIP.19540910 198303 1 003

Co Promotor,

Co Promotor,



Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc
NIP.19430612 196509 2 001



Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T
NIP.19810425 200812 1 001

Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil

Dekan Fakultas Teknik,



Prof. Ir. S.A. Adisasmita, M.Si., M.Eng.Sc., Ph.D
NIP. 19640422 199303 1 001



Prof. Dr. Ir. M. Arsyad Thaha, M.T
NIP.19601231 198609 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yolly Adriati

Nomor mahasiswa : P0800316416

Program studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 September 2021

Yang menyatakan,



Yolly Adriati
Yolly Adriati

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil 'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada ALLAH *Subhanahu Wata'ala* yang telah memberikan rahmat, nikmat dan karuniaNYA sehingga Penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul **“Model Pengolahan Air Baku Dengan sistem Kombinasi Filter *Downflow Upflow*”**.

Penyusunan disertasi ini banyak kendala yang penulis hadapi, berkat pertolongan ALLAH *Subhanahu Wata'ala* dan dukungan banyak pihak, pada kesempatan ini penuls menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya dan penghargaan yang setinggi tingginya kepada:

1. Prof. DR. Ir. H. Muh. Saleh Pallu., M.Eng. selaku Promotor yang telah membimbing dari awal sampai terselesaikannya disertasi ini
2. Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc. selaku Dosen Co Promotor 1 yang telah membimbing, memberikan arahan dan petunjuk dalam penyelesaian disertasi ini
3. Bapak Dr.Eng.Ir.Bambang Bakri, S.T.,M.T. selaku Dosen Co Promotor 2 yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan yang begitu tulus dan ikhlas
4. Prof.Dr.Ir.Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmata, M.Si., M.Eng.Sc.,Ph.D selaku Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

6. Bapak dan Ibu Dosen serta Staf Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin
7. LPDP – BUDI DN (lembaga Pengelola Dana Pendidikan – Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia Dalam Negeri) yang telah memberikan dukungan bantuan dana selama menempuh studi
8. Rekan rekan Program Doktoral Teknik Sipil Konsentrasi Keairan 2016 dan Rekan rekan Program Doktoral Teknik Sipil 2016 yang telah banyak membantu dalam proses penelitian

Penghargaan yang setinggi tingginya kepada kedua Orang Tua , Ayahanda Almarhum H.Bustami dan Ibunda Hj. Darti yang telah membesarkan dengan penuh kesabaran, mendidik serta dukungan doa untuk keberhasilan penulis, juga untuk saudara saudari dan keluarga besar penulis yang telah memberikan dorongan dan sumbangsih.

Ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi tingginya terkhusus buat suami tercinta Ahmad Haya, ST.,MT., Ph.D yang selalu menyemangati dalam menyelesaikan studi dan memberi motivasi untuk selalu bekerja dengan baik demi masa depan yang lebih baik.

Penyusunan disertasi ini masih jauh dari dari kesempurnaan, oleh karena itu sangat di harapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan disertasi ini. Semoga disertasi ini dapat bermanfaat

Makassar, September 2021

Penulis

Yolly Adriati

ABSTRAK

YOLLY ADRIATI. *Model Pengolahan Air Baku Dengan Sistem Kombinasi Filter Downflow – Upflow* (dibimbing oleh Muhammad Saleh Pallu, Mary Selintung dan Bambang Bakri).

Penelitian ini diarahkan untuk menemukan suatu temuan baru model pengolahan air baku dengan menggunakan model sistem kombinasi yaitu model sistem pengaliran air baku dari atas ke bawah (*downflow*) dan sistem pengaliran air baku dari bawah ke atas (*upflow*) dengan variasi ketebalan media filter sehingga didapatkan kecepatan dan tingkat kekeruhan air baku yang memenuhi syarat dan standar air baku. Penelitian ini menganalisis pengaruh filter dan menganalisis efektifitas tingkat kekeruhan dan *Total Suspended Solid (TSS)* dengan menggunakan sistem kombinasi filter *downflow upflow*. Penelitian ini terdiri dari tahap pengambilan sampel dan tahap pengujian dilaboratorium, Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental laboratorium. Karakteristik yang digunakan dalam menggambarkan efektifitas adalah kecepatan filtrasi, kehilangan energi, gradien hidrolis dan kapasitas filter (tingkat kekeruhan dan *Total Suspended Solid (TSS)*). Parameter yang digunakan adalah besarnya debit filtrasi (Q_{out}), lamanya filtrasi (t) diameter media filter (d), konsentrasi air baku dan ketebalan media filtrasi (D). Penelitian ini menggunakan tiga variasi ketebalan media filter pasir pantai yaitu ketebalan 10 cm, 20 cm dan 30 cm, sedangkan untuk media filter gabungan menggunakan pasir pantai dan zeolit dengan ketebalan 20 cm. Konsentrasi kekeruhan air baku ada tiga variasi konsentrasi rendah dengan 50 NTU konsentrasi sedang dengan 200 NTU konsentrasi tinggi dengan 1000 NTU. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan dengan kombinasi *filter downflow upflow* penyisihan kekeruhan dan *Total Suspended Solid (TSS)* cukup signifikan sesuai dengan standard air baku menurut peraturan pemerintah Republik Indonesia nomor 32/Menkes/Per/IX/2017. Efektifitas pengolahan air baku dengan menggunakan sistem kombinasi *downflow upflow* cukup tinggi yaitu 76,98% sampai 99,13%, ketebalan filtrasi yang optimal yaitu ketebalan 20 cm untuk media filter pasir pantai dan media filter gabungan. Dengan menggunakan sistem kombinasi filter *downflow upflow* ini lebih efektif dalam penggunaan ketebalan media filter.

Kata Kunci : *downflow upflow*, debit, kecepatan, filtrasi, kekeruhan, *Total Suspended Solid (TSS)*, efektifitas

ABSTRACT

YOLLY ADRIATI. *Raw Water Treatment Model With Combined System Of Downflow – Upflow Filter* (Supervised by Muhammad Saleh Pallu, Mary Selintung dan Bambang Bakri

This research is directed to find a new finding of raw water treatment model using a combination system model, namely the raw water flow system model from top to bottom (downflow) and raw water flow system from bottom to top (upflow) with variations in the thickness of the filter media so that the speed and the level of turbidity of raw water that meets the requirements and standards of raw water. This study analyzes the effect of the filter and analyzes the effectiveness of the level of turbidity and Total Suspended Solid (TSS) using a downflow upflow filter combination system. This research consists of a sampling stage and a laboratory testing stage. The method used in this research is an experimental laboratory. The characteristics used to describe effectiveness are filtration speed, energy loss, hydraulic gradient and filter capacity (turbidity level and Total Suspended Solid (TSS)). The parameters used are the amount of filtration discharge (Q_{out}), duration of filtration (t) diameter of filter media (d), concentration of raw water and thickness of filtration media (D). This study uses three variations of the thickness of the beach sand filter media, namely the thickness of 10 cm, 20 cm and 30 cm, while the combined filter media uses zeolite with a thickness of 20 cm. The turbidity concentration of raw water has three variations, low concentration with 50 NTU, medium concentration with 200 NTU, high concentration with 1000 NTU. The results showed that the treatment with a combination of downflow upflow removal for turbidity and Total Suspended Solid (TSS) was quite significant in accordance with the standard of raw water according to the government regulation of the Republic of Indonesia number 32/Menkes/Per/IX/2017. The effectiveness of raw water treatment using downflow upflow combination system is quite high, namely 76.98% to 99.13%, the optimal filtration thickness is 20 cm thickness for beach sand filter media and combined filter media. By using a downflow upflow filter combination system, it is more effective in using the thickness of the filter media.

Keyword: Downflow, Upflow, Discharge, Velocity, Filtration, Total Suspended Solid (TSS), Effectiveness

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	6
E. Batasan Masalah	6
F. Sistematika Penulisan	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
A. Air Baku	11
1. Karakteristik Air Baku	12
2. Standar Baku Mutu Air Bersih	13
3. Pengolahan Air Baku	14
B. Filtrasi	15
1. Tipe Filtrasi	17
2. Sistem Filtrasi Downflow	19
3. Sistem Filtrasi Upflow	21

4. Mekanisme Proses Filtrasi	23
5. Koefisien Filtrasi	27
C. Media Filter Dan Distribusi Media	28
1. Media Filter	28
2. Distribusi Media	31
3. Porositas	33
D. Hidrolika Filtrasi	35
E. Permeabilitas Tanah	39
1. Permeabilitas dan konduktivitas hidrolis	39
2. Hubungan permeabilitas dengan keterhantaran hidrolis	43
F. Analisa Dimensi	45
G. Hipotesa	47
H. Penelitian – penelitian sebelumnya	47
I. Kerangka pikir penelitian	51
BAB III METODE PENELITIAN	53
A. Bentuk dan Jenis Penelitian	53
B. Lokasi dan Waktu	53
C. Rancangan Penelitian	53
1. Bahan Penelitian	53
2. Peralatan	55
3. Perencanaan Benda Uji	56
D. Variabel Penelitian	57
E. Analisa Data	60
F. Ekspektasi Hasil Penelitian	62
H. Bagan Alir Penelitian	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	64
A. Karakteristik Media Filter	64
1. Analisa Saringan	65
2. Berat Jenis	65
B. Karakteristik Fisik Air Baku	66

C. Karakteristik Pengujian Debit	66
D. Pengaruh Ketebalan Media Terhadap Debit dan Kecepatan Filtrasi Pada Sistem Kombinasi Downflow upflow	67
1. Media Filter Pasir Pantai	68
2. Media Filter Gabungan	72
E. Kehilangan Energi (Headloss)	76
1. Kehilangan Energi Pada Media Filter Pasir Pantai	77
2. Kehilangan Energi Pada Media Filter Gabungan	79
F. Hubungan Tingkat Kekeruhan dengan Debit Filtrasi	82
1. Media Filter Pasir Pantai	83
2. Media Filter Gabungan	85
G. Efektifitas Penyisihan Kekeruhan dan Total Suspended Solid	88
1. Media Filter Pasir Pantai	88
2. Media Filter Gabungan	90
H. Validasi Hasil Penelitian	92
1. Media Filter Pasir Pantai	92
2. Media Filter Gabungan	93
I. Model Empiris	94
1. Hubungan debit filtrasi dengan gradien hidrolis (h/D), diameter butir dan porositas pada sistem kombinasi <i>downflow upflow</i>	94
2. Hubungan tingkat kekeruhan dengan gradient hidrolis diameter butir dan porositas pada sistem kombinasi <i>downflow upflow</i>	99
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	101
A. Kesimpulan	101
B. Saran	102
DAFTAR PUSTAKA	103
LAMPIRAN LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Standar Baku Mutu Media Air (Air Baku) Untuk Keperluan Higiene Sanitasi	14
2. Kriteria perencanaan media filter untuk pengolahan air minum	32
3 Nilai Porositas beberapa jenis tanah	34
4. Nilai K dari beberapa jenis tanah atau formasi geologi	40
5. Dimensi dari berbagai besaran fisik	46
6. Efektifitas penurunan kekeruhan pada media filter pasir pantai	89
7. Efektifitas penurunan TSS pada media filter pasir pantai	90
8. Efektifitas penurunan kekeruhan pada media filter gabungan	91
9. Efektifitas penurunan TSS pada media filter gabungan	91
10.Matrik Dimensional Kecepatan Filtrasi	95

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Sistem Filtrasi <i>downflow</i>	21
2. Sistem Filtrasi upflow	23
3. Kecepatan aliran (J) adalah jumlah air (Q) yang lewat melalui irisan melintang (A) persatuan waktu (t)	42
4. Diagram hubungan antara Flux dan Gradien Hidrolik	43
5. Kerangka pikir penelitian	52
6. Pasir pantai (a) batuan zeolit (b) dan ijuk (c)	54
7. Sketsa reaktor sistem kombinasi filter downflow upflow	55
8. Sketsa susunan medi filter	57
9. Bagan alir penelitian	63
10. Hubungan ketebalan media filter pasir pantai terhadap debit filtrasi pada sistem kombinasi filter downflow upflow	68
11. Hubungan ketebalan media filter pasir pantai terhadap kecepatan filtrasi pada sistem kombinasi filter downflow upflow	70
12. Hubungan ketebalan media filter gabungan terhadap debit filtrasi pada sistem kombinasi filter downflow upflow	72
13. Hubungan ketebalan media filter gabungan terhadap kecepatan filtrasi pada sistem kombinasi filter downflow upflow	74
14. Kehilangan energi pada media filter pasir pantai	77
15. Kehilangan energi pada media filter gabungan	80
16. Penurunan debit filtrasi dan tingkat kekeruhan pada media filter pasir pantai pada konsentrasi rendah 50 NTU	83

17. Penurunan debit filtrasi dan tingkat kekeruhan pada media filter pasir pantai pada konsentrasi sedang 200 NTU	84
18. Penurunan debit filtrasi dan tingkat kekeruhan pada media filter pasir pantai pada konsentrasi tinggi 1000 NTU	84
19. Penurunan debit filtrasi dan tingkat kekeruhan pada media filter gabungan pada konsentrasi rendah 50 NTU	86
20. Penurunan debit filtrasi dan tingkat kekeruhan pada media filter gabungan pada konsentrasi sedang 200 NTU	86
21. Penurunan debit filtrasi dan tingkat kekeruhan pada media filter gabungan pada konsentrasi tinggi 1000 NTU	87
22. Perbandingan Q penelitian dan Q darcy terhadap h/D pada media filter pasir pantai	92
23. Perbandingan Q penelitian dan Q darcy terhadap h/D pada media filter gabungan	93
24. Hubungan debit filtrasi $\frac{Q}{gt^2v}$ terhadap gradien hidrolis $\frac{h.d}{Dgt^2}.\varepsilon$	98
25. Hubungan kekeruhan(Kp/Ks) terhadap gradien hidrolis $\frac{h.d}{Dgt^2}.\varepsilon$	99

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor

1. Analisa saringan media filter pasir pantai
2. Analisa saringan media filter Zeolit
3. Berat Jenis Media Filtrasi
4. Permeabilitas Media Filtrasi
5. Porositas media Filtrasi
6. Data Kapasitas Filter (debit dan kecepatan) Media Filter Pasir Pantai konsentrasi rendah 50 NTU
7. Data Kapasitas Filter (debit dan kecepatan) Media Pasir pantai konsentrasi sedang 200 NTU
8. Data Kapasitas Filter (debit dan kecepatan) Media Pasir pantai konsentrasi tinggi 1000 NTU
9. Data Kapasitas Filter (debit dan kecepatan) Media filter gabungan konsentrasi rendah 50 NTU
10. Data Kapasitas Filter (debit dan kecepatan) Media Filter gabungan konsentrasi sedang 200 NTU
11. Data Kapasitas Filter (debit dan kecepatan) Media Filter gabungan konsentrasi tinggi 1000 NTU
12. Efisiensi kekeruhan pada media filter pasir pantai
13. Efisiensi TSS pada media filter pasir pantai
14. Efisiensi kekeruhan pada media filter gabungan
15. Efisiensi TSS pada media filter gabungan
16. Kehilangan energi pada media filter pasir pantai

17. Kehilangan energi pada media filter gabungan
18. Data Q penelitian dan Q Darcy untuk media filter pasir pantai
19. Analisa Dimensi

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
A	Luas reaktor (cm ²)
C _d	Koefisien drag
D	Ketebalan media filter (cm)
D _c	Diameter pipa (cm)
d	Diameter butir pasir (cm)
€	Porositas media
E _s	<i>Effective size</i>
f	koefisien kekasaran
G	Percepatan gravitasi (m/dtk ²)
H	<i>Head</i>
h _l	Kehilangan tekanan akibat gesekan (m)
i	Gradien hidrolik
J	Kecepatan aliran (m/detik)
K	Keterhantaran hidrolik
K _{in}	Konsentrasi input kekeruhan air (NTU)
K _{out}	Konsentrasi Output Kekeruhan air(NTU)
K _p	Kekeruhan hasil penelitian (NTU)
K _s	Kekeruhan standar (NTU)
L	Tebal media
μ	Viskositas Dinamis (Ns/m ²)

NTU	Nephelometric Turbidity Unit
n	Porositas tanah (%)
ρ	Berat Jenis
Q	Debit (m ³ /detik)
Q_{in}	Debit masuk (m ³ /detik)
Q_{out}	Debit keluar (debit filtrasi) (m ³ /detik)
t	Waktu
U_c	<i>Uniformity Coefficient</i>
V	Kecepatan aliran (m/detik)
V_a	Flow rate (cm/detik)
V_p	Volume butir media
V_v	Volume rongga media
ν	Viskositas Kinematis (m ² /detik)
λ	Koefisien/konstanta filtrasi

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan air bersih merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Air adalah zat atau unsur yang paling mendasar bagi makhluk hidup. Dalam kehidupan sehari-hari manusia selalu memerlukan air dengan kebutuhan yang berbeda-beda di setiap tempat maupun lingkungan. Manusia membutuhkan air untuk berbagai macam keperluan, seperti mandi, memasak dan yang paling penting untuk konsumsi sehari-hari (Suprihatin dan Suparno, 2013).

Penyediaan air bersih merupakan hal yang sangat vital bagi kehidupan manusia. Kebutuhan terhadap penyediaan dan pelayanan air bersih dari waktu ke waktu semakin meningkat, hal ini dibuktikan dengan semakin tingginya angka pertumbuhan penduduk dan tingkat kesadaran masyarakat akan pentingnya air bersih bagi kehidupan sehari-hari.

Pada umumnya air bersih bersumber dari air baku. Air baku merupakan bagian dari sumber daya alam sekaligus juga sebagai bagian dari ekosistem yang terdapat dipermukaan (sungai) atau didalam tanah (sumur). Kualitas air baku dari sungai ini tentunya tidak selalu stabil, banyak faktor

yang mempengaruhi kualitas air baku, di antaranya faktor fisik, kimia, dan biologis. Air baku yang ada pada saat ini tidak memenuhi syarat untuk air bersih karena umumnya memiliki tingkat kekeruhan yang tinggi.

Dalam rangka meningkatkan kebutuhan dasar masyarakat mengenai kebutuhan air bersih, maka perlu diusahakan proses pengolahan dan pengelolaan air baku yang sesuai dengan karakteristik keadaan sekitar. Karakteristik utama yang perlu diperhatikan adalah sumber air baku yang tersedia serta pemilihan teknologi yang sesuai. Begitu banyak teknologi pengolah air baku (*water treatment*) yang telah dilakukan, antara lain dengan *fitoremediasi*, *constructed wetland*, lumpur aktif, *biofilter*, *vertical roughing filter* dan *horizontal roughing filter*, namun masih ditemukan bermacam kendala yang berakibat pada tuntutan perbaikan, seperti : biaya yang relatif mahal, mekanisme yang statis (diam di tempat), energi pengolahan yang besar dan lain-lain (Herlambang, 2010). Pengolahan air baku dapat dilakukan secara individu maupun komunal.

Salah satu proses pengolahan air baku adalah pengolahan dengan cara filtrasi (penyaringan). Filtrasi merupakan sistem pengolahan air yang merupakan suatu proses pemisahan zat padat dari zat cair dengan menggunakan medium berpori untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat yang tersuspensi dan koloid serta zat – zat lainnya (Said, 2005).

Menurut Huisman (1994), pengolahan air baku dengan filter media berbutir dapat digunakan sebagai unit tambahan dalam pengolahan air baku. Proses penyaringan filter media mempunyai dua tipe penyaringan yang umum digunakan. Penyaringan yang menggunakan saringan pasir cepat dan saringan pasir lambat dengan sistem penyaringan dari atas ke bawah (*downflow*) dan sistem penyaringan dari bawah ke atas (*upflow*).

Berbagai inovasi teknologi telah dikembangkan dewasa ini dalam upaya pengolahan air baku menjadi air bersih diantaranya penelitian Triwardani (2011) tentang pemakaian cangkang kerang, batu apung, dan arang aktif tempurung kelapa sebagai media pada *roughing filter* aliran horizontal dalam menurunkan kadar kekeruhan dan kesadahan pada air Sungai Brantas (Studi kasus sumber air DAS Brantas), mampu menurunkan kekeruhan menjadi 92,75% dan kesadahan menjadi 76,21%. Penelitian Rahman (2012) dengan Pemanfaatan *Rouging* filter aliran horizontal dalam menurunkan kekeruhan dan kesadahan pada air sungai dengan media filter batu kapur, zeolit dan batu kerikil, mampu menurunkan kekeruhan menjadi 71,17% dan kesadahan menjadi 63,11% . Said (2005) menerapkan teknologi saringan pasir lambat (sarpalam) *up flow* dengan menggunakan konstruksi sipil dengan kapasitas pengolahan 100 m³/hari dan teknologi saringan pasir lambat *downflow* dengan konstruksi mekanik untuk sistem penjernihan air sampai siap minum. Anis dan Nano (2016) telah melakukan penelitian pengolahan limbah cair

domestik (*greywater*) dengan proses filtrasi *upflow* menggunakan media pasir, zeolit dan arang aktif tempurung kelapa. Penelitian ini dilakukan pengolahan secara fisik yaitu proses pengolahan limbah tanpa adanya reaksi kimia atau biologi, tahapan pemisahan materi tersuspensi dari fase fluidanya dengan proses filtrasi *upflow*. Pengolahan filtrasi *upflow* bertujuan untuk menyisahkan konsentrasi deterjen dan fosfat dengan variasi ketinggian media reaktor 1 (R_1) tinggi 10 cm pasir : zeolit 15 cm : arang aktif : 15 cm; reaktor 2 (R_2) tinggi 15 cm pasir : 15 cm zeolit : 10 cm arang aktif; reaktor 3 (R_3) tinggi 15 cm pasir : 10 cm zeolit : 15 cm arang aktif dan variasi waktu operasional 70 menit, 80 menit, 90 menit, 100 menit, 110 menit dengan debit 10 ml/detik. Prosentase penurunan konsentrasi deterjen dan fosfat tertinggi pada Reaktor 1 dengan nilai prosentase penyisihan deterjen sebesar 62.78% dan prosentase penyisihan fosfat sebesar 67.71%. Dengan demikian filtrasi *Upflow* dengan variasi ketinggian media dan waktu operasional mampu menurunkan kadar deterjen dan fosfat.

Penelitian ini diarahkan untuk menemukan suatu temuan baru tentang desain model pengolahan air baku menggunakan model sistem kombinasi yaitu model saringan pengaliran air baku dari atas ke bawah (*downflow*) dan sistem pengaliran air baku dari bawah ke atas (*upflow*) dengan variasi ketebalan media. Pengolahan dengan sistem kombinasi *downflow* dan *upflow* merupakan suatu sistem pengolahan baku yang sangat sederhana dibuat

untuk memisahkan zat padat yang terkandung dalam air baku tersebut yang nantinya akan dihasilkan efektifitas waktu filtrasinya dan sejauh mana dapat menghilangkan kekeruhan dan *total suspended solid* sehingga air yang dihasilkan dapat layak digunakan sesuai menurut syarat baku mutu air.

Berdasarkan latar belakang tersebut kemudian dituangkan dalam bentuk penelitian yang berjudul “ **Model Pengolahan Air Baku Dengan Sistem Kombinasi Filter *Downflow Upflow***”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dalam upaya pelaksanaan penelitian yang terarah, maka rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh filter terhadap pengolahan air baku dengan sistem kombinasi filter *downflow - upflow*
2. Berapakah tingkat efektifitas kekeruhan pengolahan air baku dengan menggunakan sistem kombinasi filter *downflow - upflow*
3. Bagaimana model empiris filter dengan sistem kombinasi filter *downflow upflow* terhadap debit filtrasi dan kekeruhan

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah pada uraian terdahulu maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh filter terhadap pengolahan air baku dengan sistem kombinasi filter *downflow upflow*
2. Menganalisis tingkat efektifitas kekeruhan pengolahan air baku dengan menggunakan sistem kombinasi filter *downflow upflow*
3. Merumuskan model empiris filter sistem kombinasi filter *downflow* dan *upflow* terhadap debit filtrasi dan kekeruhan

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memperoleh suatu teknologi yang sederhana dan mudah pengoperasiannya untuk mengolah air baku sehingga dapat memenuhi standar air yang baik dan aman untuk dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari.
2. Memberikan data informasi tentang kemampuan penurunan kekeruhan air baku dengan menggunakan sistem kombinasi *downflow upflow*.
3. Sebagai referensi dalam penelitian lanjutan terkait dengan pengolahan air dengan sistem kombinasi *downflow upflow*

E. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, perlu adanya pembatasan - pembatasan masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Model yang digunakan adalah sistem pengolahan sitem kombinasi filter *downflow upflow*
2. Media yang digunakan berupa pasir pantai, *zeolit* dan ijuk (sekat).
3. Variasi ketebalan media filter pasir pantai yaitu 10 cm, 20 cm dan 30 cm
4. Variasi ketebalan gabungan yang digunakan pada masing masing reaktor ada 3 variasi yaitu:
 - a. Pasir pantai = 10 cm , zeolith = 20 cm , ijuk = 3 cm
 - b. Pasir pantai = 20 cm , zeolith = 20 cm , ijuk = 3 cm
 - c. Pasir pantai = 30 cm , zeolith = 20 cm , ijuk = 3 cm
5. Konsentrasi kekeruhan air baku yang digunakan ada 3 konsentrasi yaitu konsentrasi kekeruhan rendah dengan 50 NTU, konsentrasi kekeruhan sedang 200 NTU, dan konsentrasi kekeruhan tiggii 1000 NTU
6. Dimensi model yang digunakan lebar 50 cm panjang 50 cm dan tinggi 150 cm
7. Panjang saluran penghubung reaktor yaitu 200 cm, lebar 10 cm dan tinggi 10 cm
8. Sistem filtrasi yang digunakan adalah secara gravitasi dan pompa secara kontinyu
9. Model yang digunakan dalam penelitian tidak diskalakan.
10. Pasir yang digunakan sebagai media filtrasi adalah pasir pantai dengan gradasi lolos saringan 20 inch yang berdiameter 0.85 mm.

11. Ukuran zeolit yang digunakan yaitu $\frac{3}{4}$ inch berdiameter 19.1 mm
12. Parameter yang di ukur adalah suhu, kekeruhan dan TSS.
13. Pada penelitian ini tidak dilakukan perhitungan biaya yang digunakan.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan penjabaran secara deskriptif mengenai hal hal yang ditulis. Sistematika penulisan dalam disertasi ini memberikan gambaran secara singkat terhadap kegiatan penelitian dan penyusunan disertasi.

BAB I Pendahuluan

Bagian ini merupakan pengantar yang meliputi latar belakang yang memaparkan informasi tentang materi keseluruhan dari penelitian yang ditulis secara sistimatis dan terarah. Latar belakang mengemukakan argumentasi tentang pentingnya melakukan penelitian, kejelasan masalah yang akan diteliti, rumusan masalah, batasan yang akan diteliti, tujuan dari penelitian dan memberikan solusi penyelesaian masalah.

BAB II Tinjauan Pustaka,

Bagian ini merupakan uraian teori temuan dan bahan penelitian yang diperoleh dari acuan untuk selanjutnya dijadikan landasan untuk melakukan penelitian. Selain itu dipaparkan juga kerangka pikir penelitian dalam bentuk bagan. Kerangka penelitian merupakan model konseptual tentang bagaimana

teori berhubungan dengan berbagai faktor yang telah diidentifikasi sebagai masalah penting

BAB III Metode Penelitian,

Bagian ini menguraikan tentang hal hal yang terkait dengan pelaksanaan penelitian kuantitatif.. Bagian ini terdiri dari penjelasan mengenai desain penelitian, lokasi dan waktu penelitian, bahan bahan dan alat- alat penelitian, parameter penelitian, jenis data, teknik pengambilan data, analisis data, diagram alir penelitian (*flow chart*), variabel penelitian dan lain lain.

BAB IV Hasil dan Pembahasan,

Bagian ini menguraikan data hasil penelitian yang merujuk pada rumusan masalah dan tujuan penelitian. Data hasil penelitian berupa data primer dan hasil analisis yang dilanjutkan dengan pembahasan yang mengandung jawaban akan setiap masalah penelitian atau menunjukkan bagaimana tujuan dicapai dan menafsirkan segala temuan penelitian.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bagian ini berisi kesimpulan yang terkait langsung dengan penelitian yang dapat ditarik dari pembahasan yang relevan dan merangkum semua hasil penelitian yang telah diuraikan. Selain kesimpulan, bagian ini berisi saran yang bersumber pada temuan penelitian, pembahasan dan kesimpulan

hasil penelitian. Saran dapat ditujukan kepada akademisi, lembaga pemerintah dan swasta atau pihak pihak lain yang dianggap layak.

Daftar Pustaka dan Lampiran

Bagian ini merupakan bagian akhir laporan penelitian, bagian ini memuat semua bahan bacaan dan referensi yang dirujuk dalam penulisan laporan penelitian dan hanya mencantumkan pustaka yang dirujuk sedangkan lampran berisi keterangan yang dipandang penting, data data , rumus rumus statistik, dokumentasi dalam pelaksanaan penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Air Baku

Air baku atau *raw water* merupakan awal dari suatu proses dalam penyediaan dan pengolahan air bersih. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 16 Tahun 2005, bahwa Air baku untuk air minum rumah tangga, yang selanjutnya disebut air baku adalah air yang dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum. .

Air baku merupakan bagian dari sumber daya alam sekaligus juga sebagai bagian dari ekosistem. Kuantitas dan kualitas air baku pada lokasi tertentu dipengaruhi oleh berbagai hal, berbagai kepentingan dan tujuan. Pemanfaatan air baku dalam pengelolaan dan penyediaan untuk air bersih (*public water supply*) ketersediaannya semakin menurun, pada dasarnya memerlukan air yang harus aman (sehat) dan bagus untuk diminum, tidak berwarna, tidak berbau, dengan rasa yang segar. Air bersih harus mempunyai kualitas yang baik dengan kriteria secara fisik, kimiawi maupun biologi. Secara umum persyaratan kualitas air bersih diatur dalam Permenkes No. 82 tahun 2001. Kualitas air menyatakan tingkat kesesuaian air terhadap penggunaan tertentu dalam memenuhi kebutuhan hidup

manusia, mulai dari air untuk memenuhi kebutuhan langsung yaitu air minum, mandi dan cuci, irigasi pertanian, peternakan, perikanan, rekreasi dan transportasi.

1. Karakteristik Air Baku

Penyediaan air bersih, selain kuantitas kualitaspun harus memenuhi standar yang berlaku. Standar kualitas air adalah baku mutu yang ditetapkan berdasarkan sifat-sifat fisik, kimia, radioaktif maupun bakteriologis yang menunjukkan persyaratan kualitas air tersebut. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air serta kegunaannya. Kualitas air digolongkan menjadi beberapa kelas yaitu :

Kelas I : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas II : Air yang peruntukannya digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas III : Air yang peruntukannya digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas IV : air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut

2. Standar Baku Mutu Air Bersih

Air bersih menurut peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 416/Menkes/Per/IX/1990 adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum setelah dimasak.

Dalam menetapkan mutu air diperlukan dasar penetapan mutu untuk suatu pemanfaatan yang spesifik dari air yang bersangkutan, misalnya untuk air minum, air bersih, air irigasi, peternakan, dan rekreasi, memiliki standar standar tertentu.

Standar air baku untuk pengelompokan kualitas keperluan *higiene Sanitasi* air bersih menurut peraturan menteri kesehatan Republik Indonesia nomor 32/Menkes/Per/IX/2017, terdapat persyaratan yang perlu diketahui untuk memenuhi air baku yang bersih dan layak digunakan oleh masyarakat. Persyaratan standar air baku tersebut yaitu persyaratan fisik, kimia, dan biologi.

Persyaratan kualitas air baku secara fisik menurut peraturan menteri kesehatan Republik Indonesia No.32/Menkes/Per/IX/2017 dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 . Standar Baku Mutu Media Air (Air Baku) untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No	Parameter fisik	satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Bau	-	Tidak berbau
2	Warna	TCU	50
3	Total zat padat terlarut (TDS)	mg/l	1000
4	Kekeruhan	NTU	25
5	Rasa	-	Tidak berasa
6	Suhu	⁰ C	Suhu udara ± 3

3. Pengolahan Air Baku

Pengolahan air baku bertujuan untuk menghilangkan atau menyisihkan kontaminan. kontaminan dapat berupa senyawa organik yang dinyatakan oleh nilai *BOD*, *COD*, *nutrient*, senyawa toksik, mikroorganisme patogen, partikel non *biodegradable*, padatan tersuspensi maupun terlarut (Hafni, 2012).

Pengolahan air baku dapat diklasifikasikan ke dalam tiga metode yaitu pengolahan fisik, kimia dan biologi. Penerapan masing-masing metode tergantung pada kualitas air dan kondisi fasilitas yang tersedia.

Pengolahan fisik merupakan metode pengolahan dimana diaplikasikan proses fisik seperti *screening*, *mixing*, *flokulasi*, *sedimentasi*, *flotasi*, filtrasi dan transfer gas (Mulia, 2005)

Pengolahan air baku secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun; dengan membubuhkan bahan kimia tertentu yang diperlukan.

Pengolahan biologi merupakan metode pengolahan dimana kontaminan disisihkan melalui aktivitas biologi yang ditujukan untuk menghilangkan substansi organik *biodegradable* dalam air baku (Hafni,2012)

B. Filtrasi

Filtrasi adalah suatu proses pemisahan zat padat dari fluida yang membawanya menggunakan suatu medium berpori atau bahan berpori lain untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat halus yang tersuspensi dan koloid (Masduqi dan Slamet, 2012).

Filtrasi adalah pemisahan partikel padat dari suspensi (atau *slury*) dengan cara mengalirkan suspensi tersebut melalui pori-pori yang cukup halus (media penyaring) sehingga mampu menahan partikel-partikel padat tersebut, namun dapat meloloskan cairan yang ada. Selama proses filtrasi zat - zat pengotor dalam media penyaring akan menyebabkan terjadinya penyumbatan pada pori pori media sehingga kehilangan tekanan akan meningkat (Joko, 2010)

Filtrasi merupakan proses dimana air dibersihkan dengan cara pengaliran melalui bahan yang berpori untuk memisahkan sebanyak mungkin padatan tersuspensi yang paling halus, dengan tujuan untuk mendapatkan air bersih dalam pengolahan air minum atau dalam pengolahan air buangan. Filtrasi dihasilkan karena adanya tahanan dari butiran media terhadap partikel pada saat terjadinya kontak pada permukaan media berbutir dari saringan. Sifat-sifat fisis dan kimiawi dari partikel dalam suspensi maupun permukaan media dan kondisi hidrolis dalam aliran sangat menentukan efisiensi pada filter (Masduki dan Slamet, 2012).

Menurut Baker (1948) dalam Selintung (2011) catatan tertulis tentang pengolahan air, sekitar tahun 4000 SM, menyebutkan filtrasi air melalui pasir dan kerikil. Walaupun sejumlah modifikasi telah dibuat, filtrasi tetap menjadi salah satu teknologi mendasar terkait dengan pengolahan air.

Filtrasi merupakan salah satu proses inti dalam pengolahan air. Istilah ini mengacu pada penghilangan, terutama dengan tindakan fisik, padatan tersuspensi saat suspensi mengalir melalui unggun yang dikemas oleh media granular. Jika koagulan ditambahkan, koloid dapat dihilangkan pada saat yang sama dan jangkauan partikel yang tertahan meningkat secara signifikan. Filtrasi berfokus terutama pada kekeruhan, warna, mikroorganisme dan partikulat, baik yang sudah ada dalam air atau terbentuk melalui pra-perawatan (Cheremisinoff, 2002 dan Ratnakaya dkk, 2009)

Filtrasi diperlukan untuk menyempurnakan penurunan kadar kontaminan seperti bakteri, warna, rasa, bau dan zat besi (F_e) sehingga diperoleh air yang bersih memenuhi standar kualitas air minum (Joko, 2010). Air yang keluar dari filtrasi (penyaringan) biasanya sudah jernih dan proses tersebut merupakan proses akhir dari proses pengolahan air dan penjernihan air.

1. Tipe filter

Berdasarkan pada kapasitas produksi air yang terolah, filter pasir dapat dibedakan menjadi dua yaitu filter pasir lambat dan filter pasir cepat

a. Filter pasir lambat (*Slow sand filter*)

Filter pasir lambat merupakan penyaringan partikel yang tidak didahului proses pengolahan kimiawi (*koagulasi*). Kecepatan aliran dalam media pasir ini kecil karena ukuran media pasir lebih kecil. Saringan pasir lambat lebih menyerupai penyaringan air secara alami, kecepatan filtrasi lambat yaitu sekitar 0,1 hingga 0,4 m/jam. Kecepatan yang lebih lambat ini disebabkan ukuran media pasir lebih kecil (*effective size* 0,15 – 0,35 mm)

Filter pasir lambat cukup efektif digunakan untuk menghilangkan kandungan bahan organik dan organisme patogen pada air baku yang mempunyai kekeruhan relatif rendah yaitu dengan kekeruhan dibawah 50 NTU. Efisiensi pasir lambat tergantung pada distribusi ukuran

partikel pasir, ratio luas permukaan filter terhadap kedalaman dan kecepatan filtrasi (SNI 03-3981-2008)

b. Filter pasir Cepat (*Rapid sand filter*)

Filter pasir cepat adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi cepat, berkisar 4 hingga 21 m/jam . Kecepatan aliran air dalam media pasir lebih besar karena ukuran media pasir lebih besar. filter ini selalu didahului dengan proses koagulasi – flokulasi dan pengendapan untuk memisahkan padatan tersuspensi (Dini, 2016)

Berdasarkan arah alirannya, filter dikelompokkan menjadi:

- a. Filter aliran kebawah (*downflow filtration*)
- b. Filter aliran keatas (*upflow filtration*)
- c. Filter Kombinasi (*upflow - downflow filtration*)
- d. *Horizontal flow filtration*

Berdasarkan sistem pengaliran/*driving force*, filter terdiri dari :

- a. Filter secara gravitasi (*gravity filtration*)
- b. Filter aliran bertekanan (*pressure filtration*)

Berdasarkan sistem kontrol kecepatan, filter dikelompokkan menjadi :

- a. *Constant rate*: debit hasil proses filtrasi konstan sampai pada level tertentu. Hal ini dilakukan dengan memberikan kebebasan kenaikan level muka air di atas media filter.

- b. *Declining rate* atau *constant head*: debit hasil proses filtrasi menurun seiring dengan waktu filtrasi, atau level muka air di atas media filter dirancang pada nilai yang tetap.

2. Sistem Filtrasi *Down flow*

Sistem filtrasi *down flow* merupakan sistem saringan dimana air baku didistribusikan kedalam alat penyaringan dengan arah aliran air dari atas ke bawah. Secara umum, proses pengolahan air baku dengan sistem filtrasi *down flow* terdiri atas unit proses, yakni bak penampung air baku. Unit pengolahan air dengan filter pasir lambat *down flow* merupakan satu paket dimana kapasitas pengolahan dapat dirancang dengan berbagai macam ukuran sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Biasanya filter ini hanya terdiri dari sebuah bak yang terbuat dari beton, ferosemen, bata semen atau bak *fiberglass* untuk menampung air dan media penyaring pasir. Bak ini dilengkapi dengan sistem saluran bawah, inlet, outlet dan peralatan kontrol.

Struktur *inlet* dibuat sedemikian rupa sehingga air masuk kedalam saringan dan tidak merusak atau mengaduk permukaan media pasir bagian atas, sedangkan struktur atau bagian *outlet* selain untuk pengeluaran air hasil olahan, berfungsi juga sebagai *weir*. untuk kontrol tinggi muka air diatas lapisan pasir.

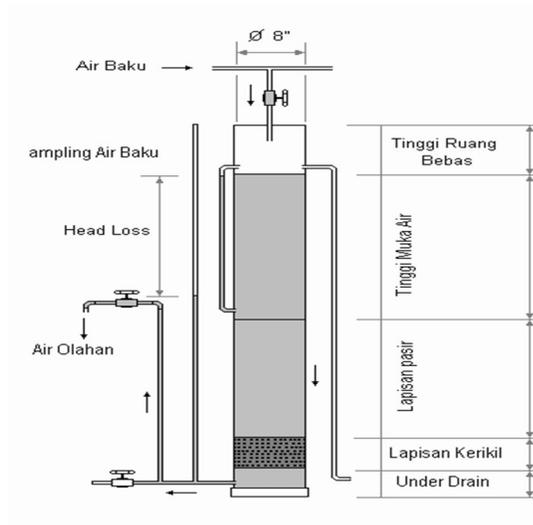
Pengolahan air baku dengan menggunakan saringan pasir lambat *down flow* ini mempunyai keunggulan antara lain :

1. Air hasil penyaringan cukup bersih untuk keperluan rumah tangga.
2. Membuatnya cukup mudah dan sederhana pemeliharaannya.
3. Bahan-bahan yang digunakan mudah didapatkan di daerah pedesaan.
4. Tidak memerlukan bahan kimia, sehingga biaya operasi sangat murah.
5. Dapat menghilangkan zat besi, mangan, warna dan kekeruhan.
6. Dapat menghilangkan *ammonia* dan *pollutan organic*, karena proses penyaringan berjalan secara fisika biokimia.
7. Sangat cocok untuk daerah pedesaan dan proses pengolahan yang sangat sederhana.

Beberapa kelemahan saringan pasir lambat *down flow* antara lain:

1. Jika air bakunya mempunyai kekeruhan yang tinggi, beban filter menjadi besar, sehingga sering terjadi kebuntuan, akibatnya waktu untuk pencucian filter menjadi pendek.
2. Pencucian filter dilakukan secara manual, yakni dengan cara mengeruk lapisan pasir bagian atas dan dicuci dengan air bersih, dan setelah bersih dimasukkan kembali kedalam saringan seperti semula.
3. Karena tanpa bahan kimia, tidak dapat digunakan untuk menyaring air gambut

Berikut adalah contoh sistem filtrasi *downflow* yang disajikan pada Gambar 1



Gambar 1 . Sistem Filtrasi *Downflow*

3. Sistem Filtrasi *Upflow*

Sistem saringan *upflow* merupakan sistem pengolahan air baku yang pada dasarnya adalah mengalirkan air melewati suatu media penyaring, dengan arah aliran dari bawah media pasir menuju keatas media pasir, sehingga hasil penyaringan berada di atas air baku. Filtrasi dengan sistem aliran *upflow* dilihat lebih efektif untuk meminimalisir terjadinya kebuntuan pada media karena kekeruhan yang tinggi. Selain itu, dengan sistem *upflow*, akan lebih mudah untuk pencucian media, yaitu cukup dengan membuka kran penguras yang akan mengalirkan hasil olahan yang lebih bersih (Said, 2005).

Menurut Khambhammettu (2006), bagian- bagian yang ada pada alat filtrasi sistem aliran *upflow* hampir sama dengan filtrasi *downflow*, yaitu

terdiri dari bagian inlet, lapisan air di bawah media penyaring, media pasir, dan bagian pengeluaran, tetapi letak masing-masing bagian berkebalikan secara vertikal saja dengan sistem filtrasi *downflow*.

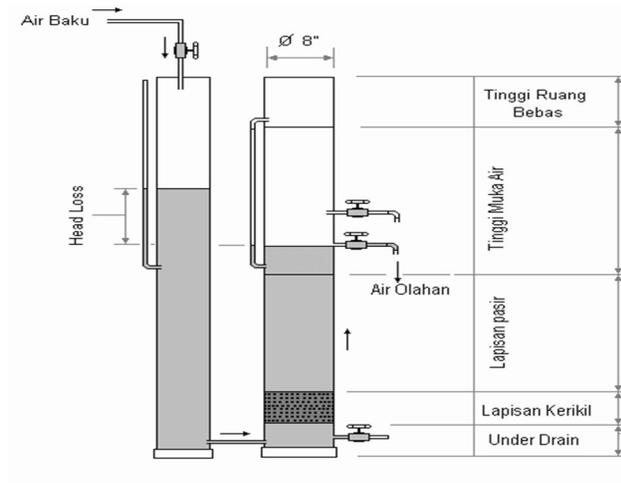
Menurut Said (2005), pengolahan air baku dengan menggunakan saringan pasir sistem aliran *upflow* mempunyai keunggulan antara lain:

- a. Filtrasi sistem *upflow* tidak memerlukan bahan kimia, sehingga biaya operasinya murah.
- b. Filtrasi sistem *upflow* dapat menghilangkan zat besi, mangan, dan warna serta kekeruhan.
- c. Filtrasi sistem *upflow* dapat menghilangkan amonia dan polutan organik, karena proses penyaringan berjalan secara fisik dan biokimia.
- d. Filtrasi sistem *upflow* lebih mudah untuk melakukan pencucian media
- e. Proses filtrasi sistem *upflow* tidak terlalu terpengaruh oleh tingkat kekeruhan air atau limbah baku.

Sedangkan kelemahan dari saringan pasir sistem aliran *upflow* yakni :

- a. Filtrasi sistem *upflow* lebih rumit karena memerlukan pengaturan tekanan khusus untuk bisa mengalirkan air atau limbah ke arah atas.
- b. Kecepatan penyaringan filtrasi sistem *upflow* rendah sehingga memerlukan ruang yang cukup luas

Berikut adalah contoh sistem filtrasi *upflow* yang disajikan pada Gambar 2



Gambar 2 . Sistem Filtrasi *Upflow*

4. Mekanisme Proses Filtrasi

Beberapa Mekanisme yang terjadi dalam proses filtrasi antara lain :

- a. *Mechanical Straining*, merupakan proses filtrasi partikel tersuspensi yang terlalu besar untuk dapat lolos melalui ruang antara butiran media.
- b. Sedimentasi, merupakan proses mengendapnya partikel tersuspensi yang berukuran lebih kecil dari lubang pori pori pada permukaan butiran
- c. *Adsorpsi* , prinsip proses ini adalah akibat adanya perbedaan muatan antara permukaan butiran dengan partikel tersuspensi yang ada disekitarnya sehingga terjadi gaya tarik menarik
- d. Aktifitas Kimia, merupakan proses dimana partikel yang terlarut diuraikan menjadi substansi sederhana dan tidak berbahaya atau

diubah menjadi partikel tidak terlarut, sehingga dapat dihilangkan dengan proses filtrasi, sedimentasi dan absorpsi pada media berikutnya

- e. Aktifitas Biologi, merupakan proses yang disebabkan oleh aktifitas mikro organisme yang hidup didalam filter

Dalam proses filtrasi faktor–faktor yang akan mempengaruhi kualitas air hasil filtrasi, efisiensi, dan sebagainya adalah faktor debit filtrasi, kedalaman media, ukuran dan material, konsentrasi kekeruhan, tinggi muka air, kehilangan tekanan, dan temperatur

a. Debit filtrasi

Diperlukan keseimbangan antara debit filtrasi dan media yang ada, debit yang terlalu cepat akan menyebabkan tidak berfungsinya filter secara efisien, sehingga proses filtrasi tidak dapat terjadi dengan sempurna, akibat adanya aliran air yang terlalu cepat dalam melewati rongga diantara butiran media pasir. Kecepatan aliran yang terlalu tinggi saat melewati rongga antar butiran menyebabkan partikel–partikel yang terlalu halus yang tersaring akan lolos

Debit filtrasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$Q = \frac{V}{t} \tag{1}$$

Dimana: Q = Debit (m³/dt)

v = Volume Air (m^3)

t = Waktu pengaliran (detik)

b. Kedalaman, ukuran dan jenis media

Partikel tersuspensi yang terdapat pada influent akan tertahan pada permukaan filter karena adanya mekanisme filtrasi. Tebal media akan mempengaruhi lama pengaliran dan besarnya daya saring. Media yang terlalu tebal biasanya mempunyai daya saring yang sangat tinggi, tetapi membutuhkan waktu pengaliran yang lama

Demikian pula dengan ukuran (diameter) butiran media berpengaruh pada *porositas*, *rate filter* dan daya saring. Keadaan media yang terlalu kasar atau terlalu halus akan menimbulkan variasi dalam ukuran rongga antar butir. Ukuran pori menentukan besarnya tingkat *porositas* dan kemampuan menyaring partikel halus yang terdapat dalam air baku. Lubang pori yang terlalu halus akan meningkatkan kemampuan menyaring partikel dan juga dapat menyebabkan *clogging* (penyumbatan lubang pori oleh partikel-partikel halus yang tertahan) yang terlalu cepat

c. Kualitas air Baku

Kualitas air baku akan mempengaruhi ratio filtrasi, khususnya konsentrasi kekeruhan. Konsentrasi kekeruhan air baku yang sangat tinggi akan menyebabkan tersumbatnya lubang pori dari media atau akan terjadi *clogging*

Efisiensi penurunan kekeruhan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R \text{ kekeruhan} = \frac{K_{in} - K_{out}}{K_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :

R kekeruhan = Efisiensi kekeruhan (%)

K_{in} = Kekeruhan sebelum di saring (NTU)

K_{out} = Kekeruhan setelah di saring (NTU).

d. Tinggi muka air di atas media dan kehilangan tekanan

Keadaan tinggi muka air di atas media berpengaruh terhadap besarnya debit atau laju filtrasi dalam media. Muka air yang tinggi akan meningkatkan laju filtrasi (bila filter dalam keadaan bersih). Muka air diatas media akan naik bila lubang pori tersumbat (terjadi *clogging*) terjadi pada saat filter dalam keadaan kotor. Untuk melewati lubang pori, dibutuhkan aliran yang memiliki tekanan yang cukup.

Besarnya tekanan air yang ada diatas media dengan yang ada didasar media akan berbeda di saat proses filtrasi berlangsung. Perbedaan inilah yang sering disebut dengan kehilangan tekanan (*headloss*). Kehilangan tekanan akan meningkat atau bertambah besar pada saat filter semakin kotor atau telah dioperasikan selama beberapa waktu. Friksi akan semakin besar bila kehilangan tekanan bertambah besar, hal ini dapat

diakibatkan karena semakin kecilnya lubang pori (tersumbat) sehingga terjadi *clogging*.

e. Temperatur

Adanya perubahan suhu atau temperatur dari air yang akan difiltrasi, menyebabkan massa jenis (*density*), *viskositas absolut*, dan *viskositas kinematis* dari air akan mengalami perubahan.

5. Koefisien Filtrasi

Koefisien atau konstanta filtrasi (λ) merupakan konstanta dari besarnya penyisihan dari *Impurities*, semakin besar harga konstanta (λ) maka semakin besar pula penyisihan terhadap *Impurities* yang akan dihilangkan (diturunkan) konsentrasinya (Huisman, 1974)

Untuk mengetahui harga konstanta filter untuk penyisihan kekeruhan maka perlu diketahui input dan output filter serta ketebalan media filter, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{1,151 \log K_{in} / K_{out}}{D} \quad (3)$$

$$\text{Atau } \lambda = \frac{\alpha}{D} \quad (4)$$

Dimana : $\alpha = 1,15 \log K_{in}/K_{out}$

K_{in} = Konsentrasi input kekeruhan air (NTU)

K_{out} = Konsentrasi output kekeruhan air (NTU)

D = ketebalan media filter (m)

C. Media Filter dan Distribusi Media

1. Media Filter

Bagian filter yang berperan penting dalam melakukan penyaringan adalah media filter. Media filter adalah bahan berbutir / granular yang mempunyai pori pori. Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, anthrasit, atau pasir garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia (Metcalf & Eddy, 2003).

Menurut Tjokrokusumo (1955: 110 – 111) pada pengolahan air baku dimana proses koagulasi tidak perlu dilakukan, air baku langsung dapat disaring dengan saringan jenis apa saja termasuk pasir kasar, karena saringan kasar mampu menahan material tersuspensi dengan penetrasi partikel yang cukup dalam, maka saringan kasar mampu menyimpan lumpur dengan kapasitas tinggi. Karakteristik filtrasi dinyatakan dalam kecepatan hasil *filtrat*. Masing – masing karakteristik dipilih berdasarkan pertimbangan teknik dan ekonomi dengan sasaran utamanya, yakni menghasilkan *filtrat* yang murah dengan kualitas yang tetap tinggi.

Berdasarkan jenis dan jumlah media yang digunakan dalam penyaringan, media filter dikategorikan menjadi:

- a. *Single media*: satu jenis media seperti pasir silika atau pasir kuarsa atau dolomit saja

- b. *Dual media*: yaitu menggunakan dua media filter misalnya digunakan pasir silika, dan *anthrasit*. Pada lapisan bawah biasa digunakan filter media pasir kuarsa dan lapisan atas media antharasit
- c. *Multi media*: yaitu menggunakan lebih dari dua media filter misalnya digunakan pasir silika, anthrasit dan garnet atau dolomit. Fungsi multi media adalah untuk memfungsikan seluruh lapisan filter agar berperan sebagai penyaring

Susunan media berdasarkan ukurannya dibedakan menjadi :

- a. Seragam (*uniform*), ukuran butiran media filter relatif sama
- b. Gradasi (*stratified*) ukuran butiran media tidak sama dan tersusun bertingkat
- c. Tercampur (*mixed*) ukuran butiran media tidak sama dan bercampur

Beberapa media filter yang sering digunakan sebagai filtrasi antara lain

- a. Pasir

Media filter yang paling banyak digunakan adalah media pasir, hal ini dikarenakan memiliki nilai ekonomis yang terjangkau. Pasir merupakan media penyaring atau filtrasi adalah proses pemisahan komponen padatan yang terkandung didalam air dengan melewati melalui media yang berpori atau bahan berpori lainnya untuk memisahkan padatan atau koloid. Pasir sebagai media penyaring mempunyai prinsip kerja yang mengolah air baku secara gravitasi. Penggunaan pasir sebagai media penyaring karena sifatnya

porous (berlubang atau berpori), bergradasi dan bentuknya seragam. Selain itu bahan relatif mudah diperoleh karena tersedia dialam dalam jumlah yang banyak. Dalam memilih jenis pasir, karakteristik pasir yang perlu diperhatikan adalah bentuk, ukuran dan kekerasan pasir (Quddus, 2014).

Pasir sebagai media filter hal-hal yang perlu diperhatikan adalah karakteristik sifat pasir :

a). Bentuk pasir

Bentuk pasir sangat berpengaruh terhadap kelolosan/ *permeabilitas*.

b). Ukuran butir pasir

Butiran pasir berukuran kasar dengan diameter > 2 mm memberikan kelolosan yang besar, sedangkan ukuran pasir berukuran halus dengan diameter $0,15 - 0,45$ mm memberikan kelolosan yang rendah.

c). Kemurnian pasir

Pasir yang digunakan sebagai media saringan baik dengan tingkat kemurnian yang tinggi, bahwa pasir terbebas dari kotoran seperti lempung. Pasir dengan kandungan lempung yang tinggi jika digunakan sebagai media filter akan berpengaruh pada kualitas filtrasi yang dihasilkan

b. Zeolit

Zeolit Merupakan suatu mineral yang dihasilkan dari proses *hidrothermal* pada batuan beku basa, secara umum zeolit mampu

menyerap, menukar ion dan menjadi katalis. Sifat zeolit sebagai *adsorben* dan penyaring molekul, karena struktur zeolit berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan *adsorben* yang selektif dan mempunyai efektivitas *adsorpsi* yang tinggi.

Zeolit berbentuk kristal *aluminosilikat* terhidrasi yang mengandung muatan positif dari ion-ion logam alkali dan alkali tanah dalam kerangka kristal tiga dimensi (Hay, 1966).

2. Distribusi Media

Pemilihan media filter yang akan digunakan dilakukan dengan analisa ayakan (*sieve analysis*). Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif (*effective size = ES*) dan keseragaman media yang diinginkan dinyatakan sebagai (*uniformity coefficient = UC*).

Effective Size (ES) atau ukuran efektif media filter adalah ukuran media filter bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10 % dari total kedalaman lapisan media filter atau 10 % dari fraksi berat, ini sering dinyatakan sebagai d_{10} (diameter pada persentil 10).

Uniformity Coefficient (UC) atau koefisien keseragaman adalah angka keseragaman media filter yang dinyatakan dengan perbandingan

antara ukuran diameter pada 60 % fraksi berat terhadap ukuran efektif atau dapat ditulis $UC = d_{60}/d_{10}$. d_{60} adalah diameter butiran pada persentil 60

Kriteria nilai ukuran efektif dan keseragaman media untuk beberapa jenis dan media filter dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 . Kriteria Perencanaan media filter untuk Pengolahan Air Bersih
(Reynolds dan Richards, 1996)

Karakteristik	Nilai	
	Rentang	Tipikal
I. Single Media		
A. Media Pasir		
Kedalaman (mm)	610 – 760	685
ES (mm)	0,35 – 0,70	0,6
UC	< 1,7	< 1,7
B. Media anthrasit		
Kedalaman (mm)	610 – 760	685
ES (mm)	0,70 – 0,75	0.75
UC	< 1,75	< 1,75
C. Rate Filtrasi (l/det m ²)	1,36 – 3.40	2,72
II. Dual Media		
A. Media Pasir		
Kedalaman (mm)	150 – 205	150
ES (mm)	0,45 – 0,55	0,5
UC	1,5 – 1,7	1,6
B. Media <i>anthrasit</i>		
Kedalaman (mm)	460 – 610	610
ES (mm)	0,9 – 1,1	1
UC	1,6 – 1,8	1,7
C. Rate Filtrasi (l/det m ²)	2,04 – 5.44	3,4

Tabel 2. (lanjutan)

III. Multi Media		
A. Media Pasir		
Kedalaman (mm)	150 – 230	230
ES (mm)	0.45 – 0.55	0,5
UC	1,5 – 1,65	1,6
B. Media anthrasit		
Kedalaman (mm)	420 – 530	460
ES (mm)	0,95 – 1,0	1
UC	1,55 – 1,75	<1,75
C. Garnet		
Kedalaman (mm)	75 – 115	75
ES (mm)	0,20 – 0,35	0,2
UC	1,6 – 2.0	<1.6
D. <i>Rate Filtrasi</i> (l/det m ²)	2,72 – 6,80	4,08

3. Porositas

Porositas dari suatu tanah atau sedimen adalah volume kosong (*void spaces*) antara komponen padatan tanah. Komponen yang mungkin ada dalam suatu massa tanah, yang terdiri dari komponen padat yaitu tanah, komponen cair atau larutan tanah, dan ruang kosong atau *void*, dimana didalamnya mungkin terisi uap air dan gas (Notodarmojo dan Anne, 2004)

Secara matematis dapat didefinisikan sebagai berikut (Fetter,1988) :

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (5)$$

Dimana : n = Porositas tanah dalam persen

V_v = Volume void dalam satuan volume tanah

V = Volume Tanah, termasuk void dan komponen padatan

Tabel 3 . Nilai Porositas beberapa jenis tanah (Fetter,1988, Todd, 1979 dan sumber lain)

Jenis/ Material Tanah	Nilai Porositas
Pasir dan kerikil seragam	0,25 – 0,50
Campuran pasir dan kerikil	0.20 – 0,35
Pasir kasar	0,25 – 0,35
Pasir sedang (medium)	0,35 – 0,40
Pasir halus	0,40 – 0,50
Glacial till	0,10 – 0,20
Shale	0,01 – 0,10
Dolomit ,retakan (<i>tractured</i>)	0.07 – 0,11
Pasir lanauan	0,39
Lanau (silt)	0,35 – 0,50
Lanau berliat	0,34
Batu granit, retakan (<i>tractured</i>)	0,02 – 0,08
Batu pasir	0,14 – 0,49
Liat endapan lanau	0,40 – 0,44
Liat	0,33 – 0,60
Tanah pada umumnya (<i>solis</i>)	0,50 – 0,60

D. Hidrolika Filtrasi

Pada prinsipnya tahanan atau gesekan suatu aliran pada media berbutir/ berpori (filter Pasir) analog dengan aliran dalam pipa kecil berjumlah banyak. Kehilangan tekanan dalam pipa akibat gesekan aliran mengikuti persamaan *Darcy - Weisbach* yaitu

$$h_l = \frac{f \cdot L \cdot V^2}{D_c \cdot 2g} \quad (6)$$

Dimana : h_l = kehilangan tekanan akibat gesekan(m)

f = Koefisien kekasaran

L = ketebalan atau kedalaman media (m)

V = kecepatan aliran (m/detik)

D_c = diameter pipa (m)

Bila persamaan *Darcy – Weisbach* diterapkan pada aliran media berbutir, maka perlu adanya penyesuaian ketebalan dan tinggi media sama dengan panjang pipa dan diameter pori diantara butiran pasir analog dengan diameter pipa. Pada pipa luas penampang saluran adalah $\frac{1}{4} \times \pi \times D_c^2$. Jari jari hidrolis (r) pada pipa adalah luas penampang dibagi dengan keliling basah

$$r = \frac{\pi \cdot D_c^2}{4 \pi D_c} = \frac{D_c}{4} \quad (7)$$

Jari – jari hidrolis pada media berbutir dapat ditentukan dengan volume rongga dibagi dengan luas permukaan butiran (A_p)

$$r = \frac{V_v}{A_p} \quad (8)$$

Volume rongga bergantung pada besarnya porositas media, porositas media ϵ dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{V_v}{V_v + V_p} \quad (9)$$

Dimana :

V_v = Volume Rongga media

V_p = Volume butiran media

Persamaan (8) ditulis kembali sebagai berikut

$$V_v = \left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right) V_p \quad (10)$$

Dengan substitusi persamaan (9) ke persamaan (7) diperoleh

$$r = \left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right) \frac{V_p}{A_p} \quad (11)$$

Bila $\frac{V_p}{A_p} = \frac{(1/3 \pi d^3)}{(3 \pi d^3)} = \frac{d}{6}$, maka

$$r = \left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right) \frac{d}{6} \quad (12)$$

Substitusikan persamaan (8) dan persamaan (11) diperoleh

$$D_c = \frac{2}{3} d \left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right) \quad (13)$$

Kecepatan aliran (V) identik dengan pendekatan laju aliran (*flow rate*,

V_a = debit/ luas permukaan bak) dibagi dengan porositasnya, maka

$$V = \frac{V_a}{\varepsilon} \quad (14)$$

Untuk jenis media yang tidak bulat digunakan faktor bentuk (kebulatan) ψ , sehingga perlu dikoreksi

$$\frac{V_p}{A_p} = \Psi \frac{d}{6} \quad (15)$$

Dari rumus *Darcy Weisbach* untuk $f' = \frac{3}{4} f$, diperoleh persamaan *Carman – Kozeny*

$$h_L = f' \frac{L}{\psi d} \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \frac{V_a^2}{g} \quad (16)$$

Nilai f' merupakan fungsi N_{RE}

$$f' = 150 \left(\frac{1-\varepsilon}{N_{RE}} \right) + 1,75 \quad (17)$$

Bilangan *Reynold* N_{RE} merupakan fungsi diameter dan kecepatan aliran yang diturunkan dengan rumus

$$N_{RE} = \frac{\psi \cdot d \cdot V_a}{\nu} = \frac{\psi \cdot \rho \cdot d \cdot V_a}{\mu} \quad (18)$$

Dimana

ρ = Berat Jenis

μ = viskositas Dinamis

ν = Viskositas Kinematis

Selain persamaan *Carman – Kozeny*, terdapat persamaan empiris untuk menghitung kehilangan tekanan saat filter bersih yaitu persamaan *Rose* (Rich, 1974) sebagai berikut

$$h_L = 1,067 \frac{C_D \cdot L \cdot V_a^2}{\psi \cdot d \cdot \varepsilon^4 \cdot g} \quad (19)$$

C_D adalah koefisien drag yang besarnya tergantung bilangan *Reynold* (persamaan 20 – 22) Nilai C_D dihitung sebagai berikut :

$$\text{Untuk } N_{RE} < 1 \quad : C_D = \frac{24}{N_{RE}} \quad (20)$$

$$\text{Untuk } 1 < N_{RE} < 10^4 \quad : C_D = \frac{24}{N_{RE}} + \frac{3}{\sqrt{N_{RE}}} + 0,34 \quad (21)$$

$$\text{Untuk } N_{RE} > 10^4 \quad : C_D = 0,4 \quad (22)$$

Persamaan (16) dan persamaan (19) digunakan untuk menghitung kehilangan tekanan akibat aliran pada media berbutir seragam. Untuk media terstratifikasi dengan porositas tidak sama, setiap lapisan media dihitung tersendiri sebagai media seragam. Hal yang sama dilakukan untuk media yang lebih dari satu macam.

Untuk media gradasi yang porositas seragam, persamaan tersebut berubah menjadi :

Persamaan *Carman – Kozeny*

$$h_l = \frac{L}{\psi} \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \frac{V_a^2}{g} \sum \frac{f' x}{d} \quad (23)$$

Persamaan *Rose (Rick, 1974)*

$$h_l = 1,067 \frac{L V_a^2}{\psi \varepsilon^4 g} \sum \frac{C_D x}{d} \quad (24)$$

Dimana : x = fraksi berat butiran media dengan ukuran di

L = tebal media total

C_D = koefisien drag

ε = porositas media filter

E. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya sehingga air dapat mengalir dari titik tinggi energi ke titik dengan energi lebih rendah (Hardiyatmo, 2002). Besarnya angka permeabilitas ditentukan oleh porositas efektif.

1. Permeabilitas dan konduktivitas hidrolis

Permeabilitas tanah merupakan sifat penting dalam kaitannya dengan mobilitas air tanah, untuk mengetahui konsep permeabilitas tersebut perlu diketahui konsep aliran yang dirumuskan oleh Henry Darcy (1856). Darcy dalam eksperimennya menemukan hubungan proporsional antara debit filtrasi air (Q) yang melalui pasir (homogen) dengan luas Penampang Aliran (A) dan kehilangan energi (gradien kehilangan energi atau gradien hidrolis),

$J = \frac{(h_1 - h_2)}{L}$ yang dapat dituliskan sebagai berikut (Bear dan Verrujit, 1990) :

$$Q = K.A.J$$

atau
$$q = K.J \quad (25)$$

dimana $h_1 - h_2 = \Delta h$ merupakan perbedaan tinggi tekan antara dua titik pada media pasir dengan beda jarak sepanjang L , q adalah *fluks* aliran (Q/A) m/s. K adalah koefisien proporsionalitas atau konduktivitas (keterhantaran) hidrolis.

Besarnya harga K dari suatu jenis tanah tergantung antara lain oleh ukuran diameter butir dan pori. Bila diameter butirnya sangat halus, walaupun porositasnya tinggi, seperti tanah liat, maka harga K akan rendah. Semakin kecil ukuran diameter dan porinya, luas permukaan persatuan berat partikel (luas permukaan spesifik) akan semakin tinggi nilainya

Tabel 4, Nilai K dari beberapa jenis tanah atau formasi geologi (Bouwer, 1978 dalam Hardiyatmo, 2002)

Jenis Tanah	Nilai K (m/hari)
Liat (permukaan)	0,01 – 0,2
Liat bagian dalam (<i>deep clay beds</i>)	10^{-8} – 10^{-2}
Lempung permukaan (<i>surface</i>)	0,1 – 1,0
Pasir Halus	1,0 - 5,0
Pasir Sedang	5,0 – 20
Pasir kasar	20 – 100
Kerikil (gravel)	100 – 1000
Pasir berkerikil	5,0 – 100
Campuran liat,pasir dan kerikil	0,001 – 0,1

Dalam menghitung pemindahan air melalui tanah pada kondisi jenuh dikenal suatu hukum yakni hukum *Darcy* yang biasa juga digunakan dalam menghitung permeabilitas. Hukum *Darcy* juga melibatkan keterhantaran

hidrolik dan *gradient hidrolik* sebagai parameter. Hukum *Darcy* melukiskan aliran air pada kondisi jenuh secara kuantitatif dirumuskan sebagai berikut :

$$q = J. K.i \quad (26)$$

Dimana

J = kecepatan aliran

K = keterhantaran Hidrolik

i = *gradient Hidrolik*

Hukum Darcy menunjukkan bahwa kecepatan aliran air (J) berbanding lurus dengan *gradient hidrolik* (i), keterhantaran hidrolik (K) adalah konstanta yang menegaskan hubungan yang sebanding antara kecepatan aliran dengan *gradien hidrolik*. Dalam hukum Darcy, keterhantaran hidrolik jenuh adalah konstanta yang menunjukkan hubungan linier antara dua variabel J dan i

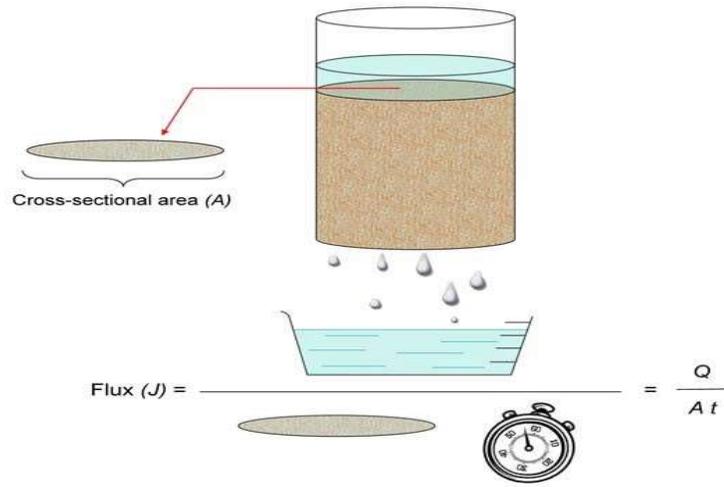
Kecepatan aliran air (J) dapat didefinisikan sebagai pengaliran air dari sebuah pipa. Kecepatan aliran air adalah Jumlah air (Q) yang keluar melalui pipa air irisan melintang (A) persatuan waktu dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$J = \frac{Q}{(A.t)} \quad (27)$$

Dimana : J = kecepatan aliran air (m/detik)

Q = pemindahan air melalui irisan melintang (A)

t = waktu (detik)



Gambar 3. Kecepatan aliran air (J) adalah jumlah air (Q) yang lewat melalui irisan me- lintang (A) per satuan waktu (t)

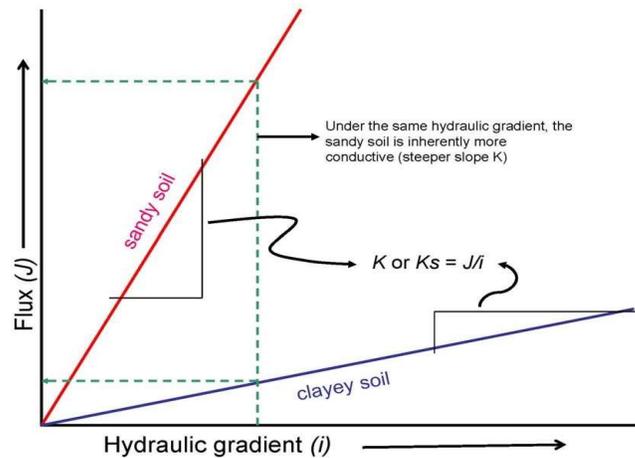
Gradient hidrolik melukiskan efektifitas kekuatan pada pemindahan air, *gradient hidrolik* adalah perbedaan total pusat hidrolik persatuan jarak dan dirumuskan sebagai berikut :

$$i = \frac{\Delta H}{l} \quad (28)$$

Dimana : ΔH adalah perbedaan atau perubahan total potensial air antara titik-titik dalam tanah l adalah jarak antar titik- titik.

2. Hubungan permeabilitas dengan keterhantaran hidrolik

Dalam hukum *Darcy* yang dipakai pada Permeabilitas yaitu keterhantaran hidrolik jenuh . Keterhantaran hidrolik jenuh adalah suatu konstanta yang menunjukkan hubungan linier antara dua variabel J dan l (Gambar 4).



Gambar 4. Diagram Hubungan antara *Flux* dan *Gradient Hidrolik*

Pada Gambar 4 garis yang dihubungkan menunjukkan bahwa pada *gradient hidrolik* tanah dengan keterhantaran yang lebih tinggi memiliki *flux* yang lebih tinggi, kemiringan garis J/i menunjukkan hubungan antara kecepatan aliran air dan gradient hidrolik. Kecepatan aliran air menunjukkan jumlah pemindahan air dalam arah dan suatu tingkat yang proporsional terhadap gradient hidrolik

Keterhantaran hidrolik (kemiringan K) menunjukkan hubungan berbanding lurus antara kecepatan aliran air (*flux*) dan *gradient hidrolik*, aliran tidak langsung pada tanah jenuh, sedangkan keterhantaran hidrolik jenuh merupakan suatu tampilan kuantitatif dari kemampuan tanah untuk mengalirkan air pada suatu *gradient* tertentu. Keterhantaran hidrolik jenuh dipengaruhi oleh sifat tanah dan cairan. Keterhantaran hidrolik tanah lebih rendah jika dialirkan cairan yang lebih kental dari air

Kecepatan aliran (*flux*) merupakan suatu tingkatan, *gradient hidrolis* merupakan kekuatan bergerak disamping dan keterhantaran hidrolis secara proporsional merupakan konstanta yang menunjukkan hubungan timbal balik antara keduanya. Keterhantaran hidrolis adalah suatu sifat penting karena dapat digunakan untuk menghitung hubungan kecepatan aliran (*flux*) dari suatu *gradient hidrolis*.

Adanya keterkaitan antara keterhantaran hidrolis jenuh dengan permeabilitas ditunjukkan oleh hubungan yang berbanding lurus antara keterhantaran hidrolis dengan kecepatan aliran (J). sementara itu kecepatan aliran merupakan perbandingan jumlah air lewat melalui irisan melintang suatu area per satuan waktu ($J = \frac{Q}{At}$). Semakin tinggi kecepatan aliran air semakin besar keterhantaran hidrolis (tanah berpasir), sebaliknya semakin turun kecepatan aliran menunjukkan penurunan keterhantaran hidrolis (pada tanah lempung)

F. Analisa Dimensi

Pada dasarnya analisa dimensi ialah suatu metode untuk mengurangi jumlah kerumitan variabel eksperimental yang mempengaruhi gejala fisika tertentu, dengan menggunakan semacam teknik peringkasan. Kalau suatu gejala tergantung pada n variabel berdimensi, analisis dimensi akan

menyederhanakan soal itu sehingga hanya tergantung pada k variabel tak berdimensi.

Bilangan tak berdimensi digunakan untuk menyatakan hubungan antar parameter serta dipakai untuk menggambarkan hasil penelitian, dengan demikian hasil penelitian tersebut dapat digeneralisir..

Permasalahan yang ada dalam mekanika fluida dan hidrolika dapat di dekati dengan analisa dimensi, yaitu teknik matematik yang berhubungan dengan dimensi dari suatu besaran fisik yang berpengaruh pada permasalahan yang di hadapi. Apabila faktor faktor yang berpengaruh pada kondisi fisik dapat diidentifikasi, maka dengan analisis dimensi ini akan dapat di tentukan bentuk hubungan di antaranya. Pertama kali di perkirakan parameter-parameter fisik yang mempengaruhi aliran, dan kemudian parameter - parameter tersebut di kelompokkan dalam suatu bentuk tak berdimensi sehingga dapat di tetapkan fenomena aliran yang lebih baik.

Beberapa cara/ metode yang umum digunakan untuk analisis dimensi yaitu metode *Basic Echelon*, metode *Buckingham*, metode *Rayleigh*, metode *Stepwise* dan metode *Langhaar*. Ada dua metode pendekatan yang biasa di gunakan dalam analisa dimensi, yaitu metode *Rayleigh* dan metode *Buckingham*. (Triadmodjo,2015)

1. Metode *Rayleigh*

Dalam metode ini suatu fungsi dari beberapa variabel di berikan dalam bentuk persamaan berpangkat yang harus mempunyai kesamaan dimensi.

2. Metode *Buckingham*

Bunyi teorema *Buckingham* adalah apabila terdapat n variable di dalam persamaan kesamaan dimensi, dan jika variabel tersebut dapat di kelompokkan ke dalam dasar seperti (M-LT) maka variable tersebut dapat di kelompokkan kedalam $(n-m)$ suku bebas tak berdimensi.

Metoda *Buckingham π theorem* diawali dengan membuat daftar variabel apa saja yang mempengaruhi proses, kemudian menentukan parameter bilangan-tak berdimensi yang dapat digabungkan (Geankoplis, 2003).

Dimensi dari berbagai besaran fisik dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Dimensi dari berbagai besaran fisik

Besaran	Simbol	Dimensi	
		M-L-T	F-L-T
Besaran dasar			
Panjang	L	L	L
Massa	M	M	$FL^{-1}T^2$
Waktu	T	T	T
Gaya	F	MLT^{-2}	F
Besaran Geometri			
Luas	A	L^2	L^2
Volume	V	L^3	L^3
Besaran Kinematik			
Kecepatan	V	LT^{-1}	LT^{-1}
Percepatan	a	LT^{-2}	LT^{-2}

Tabel 5. (Lanjutan)

Debit	Q	L^3T^{-1}	L^3T^{-1}
Kecepatan Sudut	ω	T^{-1}	T^{-1}
Frekuensi	f	T^{-1}	T^{-1}
Sirkulasi	Γ	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}
Gravitasi	g	LT^{-2}	LT^{-2}
Kekentalan Kinetik	ν	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}
Besar Dinamis			
Rapat Massa	ρ	ML^{-3}	$FL^{-4}T^2$
Berat Jenis	γ	$ML^{-2}T^{-2}$	FL^{-3}
Kekentalan Dinamis	μ	$ML^{-1}T^{-1}$	$FL^{-2}T$
Tekanan	p	$ML^{-1}T^{-2}$	FL^{-2}
Tegangan Permukaan	σ	MT^{-2}	FL^{-1}
Modulus Elastis	E	$ML^{-1}T^{-2}$	FL^{-2}
Daya	P	ML^2T^{-3}	FLT^{-1}
Kerja, Energi	w	ML^2T^{-2}	FL

G. Hipotesis

Hipotesis yang dibangun dalam penelitian ini mengacu kepada Debit masuk (Q_{in}), Debit filtrasi (Q_{out}), kecepatan filtrasi, ketebalan media filtrasi, diameter media filtrasi dgn beberapa macam tingkat kekeruhan dengan menggunakan sistem filtrasi *down flow upflow* yang dapat menurunkan kekeruhan dan *total suspended solid* (TSS)

H. Penelitian – Penelitian Sebelumnya

Penelitian penelitian tentang pengolahan air dan sistem filtrasi telah banyak dilakukan dan menghasilkan kualitas air yang baik, penelitian penelitian yang terkait dengan penelitian ini, antara lain;

1. Penelitian Syahrir dkk (2015) tentang efektifitas karakteristik pasir kuarsa Malimpung sebagai filter. Penelitian ini menggunakan sistem filtrasi *downflow* dengan tingkat kekeruhan 50 NTU. Penelitian ini menghasilkan bahwa pasir kuarsa Malimpung layak digunakan sebagai media filter dengan penyisihan tingkat kekeruhan 94,9% dan rasio debit 77%.
2. Willian dkk (2019) menganalisa efektivitas setiap kombinasi media filter dalam menurunkan paramater zat organik pada air sumur. Penelitian ini menggunakan multimedia filter dengan media pasir kerang, *manganes* *greensand* dan karbon aktif dengan ketinggian masing - masing media filter 25 cm. Debit inlet yang digunakan 0,05 m/jam. Hasil yang didapat setelah pengolahan dengan multimedia filter yakni terjadi penurunan zat organik 147,6 mg/L menjadi 6 mg/L dengan efisiensi 95,94%.
3. Hendrayani dkk (2013) melakukan pengolahan air menggunakan *Slow Sand Filter* dengan perpaduan variasi ketebalan media geotekstil dan arah aliran. Jenis geotekstil yang digunakan adalah tipe *nonwoven* dengan ketebalan 4 cm dan 6 cm, sedangkan arah aliran yang digunakan adalah *down up* dan *down down*. *Slow sand filter* yang digunakan disusun seri dengan tambahan unit *pretreatment* yaitu *roughing filter*. Parameter yang diperiksa adalah kekeruhan dan total *Coli*. Hasil yang diperoleh yaitu penyisihan kekeruhan sebesar 91,55%, penyisihan total *coli* sebesar 99,38% dengan menggunakan arah aliran

down down dengan ketebalan 6 cm, dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa arah aliran *down down* lebih baik daripada arah aliran *down up*

4. Affam. C.A da Adlan. N (2013) , melakukan penelitian pengolahan air menggunakan filtrasi sistem *upflow* dengan menggunakan media batu gamping dalam menurunkan *COD*, *BOD*, dan kekeruhan. Setelah proses filtrasi, *headloss* maksimum pada aliran yang stabil adalah 0,5 cm, perlakuan optimal dicapai efisiensi penyisihan 22% sampai 81% untuk *BOD*, 22% sampai 75 % untuk *COD*, 32% sampai 86 % untuk kekeruhan dan 36% sampai 62% untuk warna. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa filter dengan cara *upflow* dapat digunakan untuk pengolahan awal sebelum dilakukan pengolahan lanjut.
5. Artiyani A dan Firmansyah.H.N (2016), melakukan pengolahan secara fisik yaitu proses pengolahan limbah tanpa adanya reaksi kimia atau biologi, tahapan pemisahan materi tersuspensi dari fase fluidanya dengan proses filtrasi *up flow*. Penelitian ini bertujuan untuk menyisahkan konsentrasi deterjen dan *fosfat* dengan variasi ketinggian media yaitu reaktor 1 (R_1) tinggi pasir 10 cm : zeolit 15 cm : arang aktif : 15 cm; reaktor 2 (R_2) tinggi pasir 15 cm : zeolit 15 cm : arang aktif 10 cm; reaktor 3 (R_3) tinggi pasir 15 cm : zeolit 10 cm: arang aktif 15 cm. Variasi waktu operasional 70 menit, 80 menit, 90 menit, 100 menit dan 110 menit dengan debit 10 ml/detik. Prosentase penurunan konsentrasi deterjen dan

fosfat tertinggi pada reaktor 1 sebesar 62,78% penyisihan deterjen dan fosfat sebesar 67,71%. Dengan demikian filtrasi *Upflow* dengan variasi ketinggian media dan waktu operasional mampu menurunkan kadar deterjen dan fosfat.

6. Eri R.I dan Hadi. W (2009) melakukan penelitian penggunaan *Upflow Anerobic Filter* (UAF) dan *Slow Sand Filter* (SSF) dalam menurunkan warna air gambut. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan air gambut yang diambil dari Propinsi Kalimantan Barat. Reaktor yang dipakai adalah rangkaian reaktor kombinasi UAF dan SSF. Variabel penelitian adalah variasi pada media filter reaktor anaerobik (yaitu menggunakan kerikil, PVC dan botol bekas yakult). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi UAF bermedia kerikil dengan SSF kecepatan filtrasi $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ memiliki efisiensi tertinggi dalam menurunkan warna air gambut yang semula memiliki konsentrasi 804 Pt.Co menjadi konsentrasi 11 Pt.Co. Kondisi air olahan UAF dan SSF masih belum memenuhi persyaratan sebagai air bersih sesuai Permenkes No.416/Menkes /Per/IX/1990.
7. Pallu, M.S. (1999) melakukan penelitian karakteristik pasir untuk saringan penjernih air dengan menggunakan pasir kuarsa Sungai Tiroang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasir kuarsa sungai Tiroang memenuhi

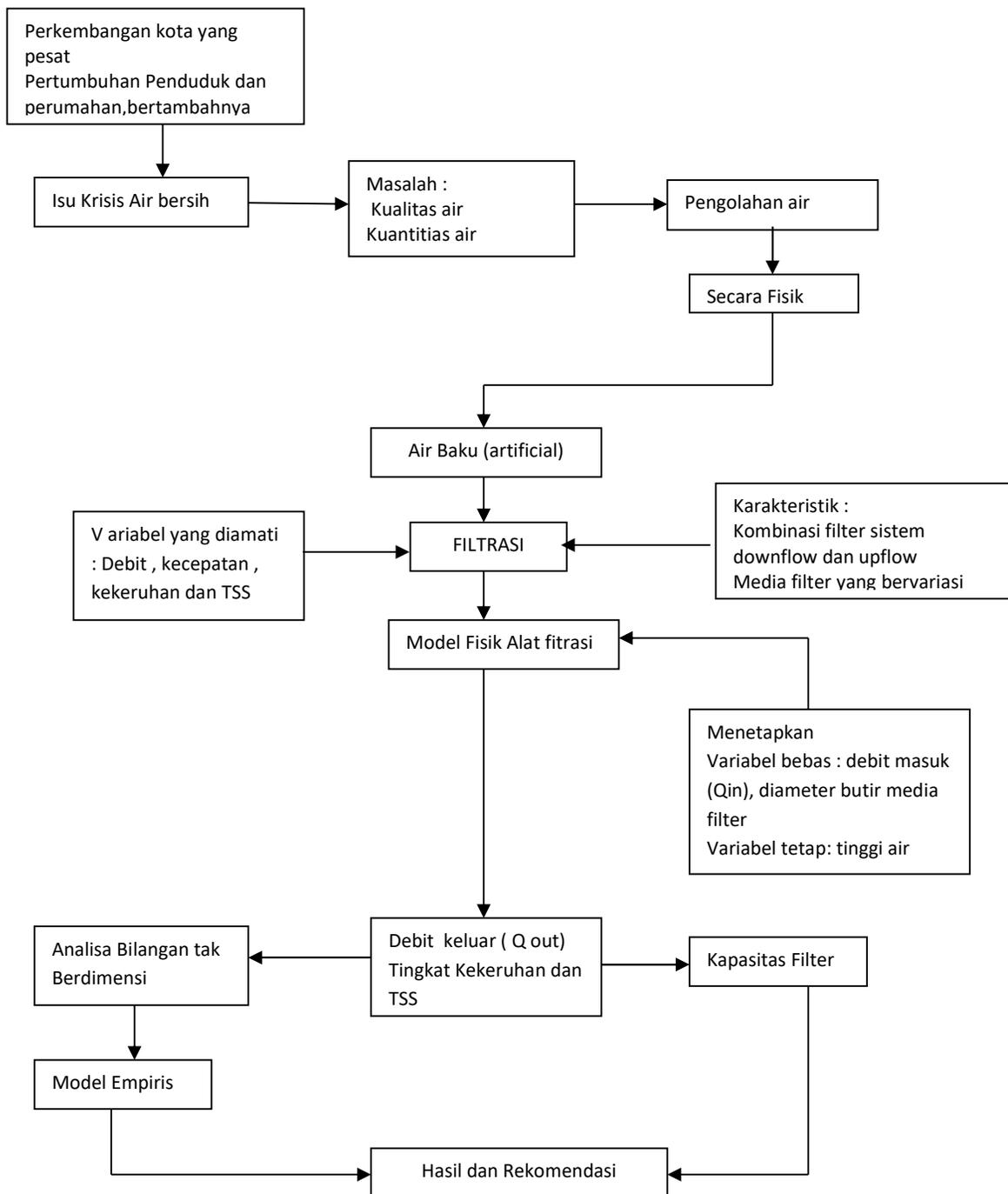
persyaratan sebagai pasir saringan sesuai standar AWWAS (*American Water Work Assosiation Standard*)

8. Awwal R (2016), menganalisa efektifitas pengolahan *graywater* dengan *Rapid Sand Filter* dalam menurunkan kekeruhan, TSS, BOD dan COD. Metode yang digunakan dengan variasi ketebalan media pasir 15 cm, 18 cm, dan 21 cm. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa ketebalan variasi media pasir 15 cm, 18 cm dan 21 cm memiliki perbedaan yang tidak signifikan untuk parameter kekeruhan. Perbedaan antara media gabungan dengan media pasir dan zeolit terjadi perbedaan yang signifikan. *Rapid sand filter* tidak optimal untuk menurunkan konsentrasi COD dan BOD greywater.

I. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian ini berupa model konseptual yang disusun berdasarkan beberapa pertimbangan beberapa isu yang berkembang saat ini, termasuk tentang bagaimana teori yang berhubungan dengan berbagai faktor yang telah diidentifikasi sebagai masalah yang penting yaitu bagaimana menjelaskan secara teoritis tautan antara variabel yang akan diteliti.

Untuk lebih jelasnya, kerangka pikir penelitian disusun dalam bentuk bagan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 . Kerangka Pikir Penelitian