

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Petugas Tentara Nasional Indonesia (TNI) di wilayah hutan perbatasan seperti Papua Nugini mengalami permasalahan seperti kesulitan akses terhadap sumber air bersih. Air bersih digunakan untuk memasak, mandi, minum dan lain-lain. Jika sumber air bersih sulit diakses, maka kebutuhan minum sulit terpenuhi. Oleh karena itu, perlu solusi inovatif untuk membantu memenuhi kebutuhan air minum. Pendekatan ini untuk memastikan ketersediaan air minum tanpa harus bergantung pada sumber air.

1.1.1 Latar belakang masalah

Air bersih merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi manusia karena memiliki peran ganda bagi kehidupan manusia. Dalam bidang eksternal, air digunakan pada sektor pertanian, industri, dan lainnya. Sedangkan, pada bidang internal, air penting bagi tubuh manusia. Air mendukung berbagai proses metabolisme tubuh manusia, menjaga keseimbangan cairan tubuh, mengatur suhu tubuh, serta memfasilitasi pencernaan dan transportasi nutrisi ke seluruh tubuh.

Tubuh manusia memiliki rata-rata komposisi air sekitar 75% dan materi padatan sekitar 25% [1]. Kekurangan air minum dapat mengganggu fungsi organ tubuh manusia dan meningkatkan risiko penyakit. Menurut pedoman gizi seimbang, dalam keadaan suhu normal kebutuhan air manusia terutama kelompok remaja dan dewasa sekitar dua liter atau setara dengan delapan gelas per hari [2].

Potensi air bersih sulit diperoleh di beberapa daerah di wilayah Indonesia. Potensi kelangkaan air bersih dapat terjadi karena beberapa faktor seperti pencemaran sumber air, ketidakseimbangan ekosistem, dan perubahan iklim. Analisis ini didasarkan pada sumber berita ‘Pansus Dewan SDA Nasional – Mengidentifikasi Permasalahan Sumber Daya Alam (SDA) Wilayah Sungai (WS) Lintas Negara di Papua’ yang menggambarkan dampak pencemaran air di wilayah tersebut [3].

Sumber-sumber air bersih dapat ditemukan melalui air tanah, penampungan hujan, dan air permukaan. Air tanah didefinisikan sebagai air yang terdapat di bawah permukaan tanah pada lapisan tanah atau bebatuan [4]. Diperkirakan sekitar 70%

kebutuhan air bersih bagi penduduk dan 90% kebutuhan air industri berasal dari tanah [4]. Pemanfaatan air tanah dalam kehidupan sehari-hari sering terlihat melalui penggunaan sumur galian dan sumur bor oleh masyarakat. Di lokasi geografis seperti hutan perbatasan, keterbatasan air tanah menjadi hambatan tersendiri dalam memenuhi kebutuhan akan air bersih. Air bersih juga dapat diperoleh melalui penampungan air hujan, namun hal ini sangat bergantung pada iklim di daerah tersebut. Keterbatasan akses yang jauh terhadap sumber air permukaan seperti sungai, danau, rawa, dan laut di wilayah perbatasan juga menimbulkan tantangan dalam pemenuhan kebutuhan air bersih. Berdasarkan informasi dari sumber berita Kantor Berita Indonesia, dapat disimpulkan bahwa kendala utama adalah kurangnya infrastruktur pengaliran yang memadai dan upaya dari pihak pemerintah dalam menyediakan layanan yang memadai untuk masalah ini [5].

Di daerah hutan perbatasan Papua dengan negara Papua Nugini, seperti di Kabupaten Keerom dengan kondisi lokasi yang jauh dari sumber air permukaan dan keterbatasan air tanah menjadi masalah dalam mendapatkan pasokan air bersih. Hal tersebut sangat dirasakan oleh TNI yang menjaga perbatasan. Dengan terbatasnya sumber air bersih, maka menjadi masalah tersendiri dalam memenuhi kebutuhan air minum TNI. Berdasarkan informasi dari sumber berita di Youtube, Pos Yetti Yonif 711/Raksamata TA 2021/2022 diperkirakan memiliki jumlah personel sekitar 20-21 orang. Dengan asumsi kebutuhan air minum per individu sekitar 2 liter per hari, maka kebutuhan air harian untuk setiap pos perbatasan mencapai sekitar 40-42 liter [6].

Dalam mengatasi permasalahan kebutuhan air minum di TNI, diperlukan solusi yang efektif, salah satunya melalui pemanfaatan uap air di atmosfer. Sebuah jurnal "Producing Safe Drinking Water Using an Atmospheric Water Generator in an Urban Environment," menyatakan bahwa produksi air atmosfer merupakan sumber potensial lain untuk memenuhi kebutuhan air minum. Atmosfer bumi menyimpan sumber daya air yang sangat besar dan dapat diperbaharui, dengan total sekitar 12.900 miliar ton air tawar. Sebanyak 98% dari jumlah tersebut berupa uap air, sementara sisanya berada dalam keadaan terkondensasi seperti awan dan kabut [7]. Pemanfaatan uap air ini dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi kesulitan mendapatkan pasokan air di hutan perbatasan Papua, terutama di Kabupaten Keerom, yang berbatasan dengan negara Papua Nugini.

1.2 Analisa Masalah

Perlu dilakukan analisis terhadap masalah-masalah yang melingkupi penyediaan air minum. Pemahaman terkait kendala berupa ekonomi, geografis dan kesehatan untuk membantu membentuk dasar untuk mengatasi permasalahan. Pada analisa masalah perlu untuk mengidentifikasi dan memahami beberapa *constraint* yang memengaruhi pengembangan dan implementasi solusi. *Constraint* merupakan faktor atau aspek yang membatasi dapat meliputi aspek geografis, aksesibilitas, ekonomi dan kesehatan. Analisa masalah terkait topik ini akan ditujukan pada daerah hutan perbatasan di seluruh Indonesia akan tetapi, informasi pendukung yang dimuat terfokus pada daerah hutan perbatasan Papua yaitu Kabupaten Keerom.

1.2.1 Aspek Geografis

Permasalahan terkait potensi air minum di daerah Kabupaten Keerom dapat ditinjau berdasarkan aspek geografis yang berkaitan dengan jenis bentang alam dan jenis tanah yang berkaitan dengan potensi air tanah. Daerah perbatasan Papua seperti Kabupaten Keerom mengalami kendala dalam pemenuhan air minum. Terdapat beberapa sumber air permukaan di Kabupaten Keerom yaitu Daerah Aliran Sungai Mamberamo (DAS Mamberamo), Sungai Tami dan Danau Sentani.

Sungai Tami



Gambar 1. 1 Sungai Tami, Senggi, Kabupaten Keerom

Danau Sentani



Gambar 1. 2 Danau Sentani, Kabupaten Jayapura

DAS (Daerah Aliran Sungai) Mamberamo merupakan sumber air yang hanya digunakan sebagai sarana transportasi dan lahan budidaya tanaman sagu oleh masyarakat setempat [8]. Dengan demikian, terbukti bahwa kurangnya pemanfaatan DAS Mamberamo sebagai potensi sumber air.



Gambar 1. 3 DAS Mamberamo, Skofro, Arso Timur

(Sumber: <https://www.goodnewsfromindonesia.id/2018/08/28/mengenal-sungai-terpanjang-di-papua>)

Bentang alam dari Kabupaten Keerom juga mendukung faktor sulitnya mengakses sumber air bersih. Berdasarkan buku kajian pengaman pembangun pulau Papua, bentang alam Kabupaten Keerom terbagi menjadi:

Tabel 1. 1 Jenis Bentang Alam di Papua dan Luasnya

Jenis Bentang Alam	Persentase Luas (%)
Pegunungan denudasional (pegunungan lereng curam)	31, 96
Pegunungan struktural lipatan batuan metamorfik dan vegetasi hutan batuan ultrabasa	19, 77
Dataran fluvial bermaterial aluvium dan vegetasi hutan pamah	14, 46

Sumber: 2018 Buku Kajian Pengaman Pembangun Pulau Papua

Kondisi geografis Kabupaten Keerom sebagian besar berupa pegunungan lereng curam yang terjal, struktural lipatan batuan metamorfik, ultrabasa, dataran fluvial serta vegetasi hutan pamah. Selain itu, hutan di perbatasan Kabupaten Keerom terbagi menjadi empat jenis yaitu Hutan Produksi Terbatas (HPT), Hutan Produksi Konservasi (HPK), hutan lindung dan kawasan suaka [9]. Berdasarkan jenis hutan tersebut, berikut merupakan pembagian persebaran tutupan lahan di Kabupaten Keerom:

Tabel 1. 2 Luas Tutupan Hutan

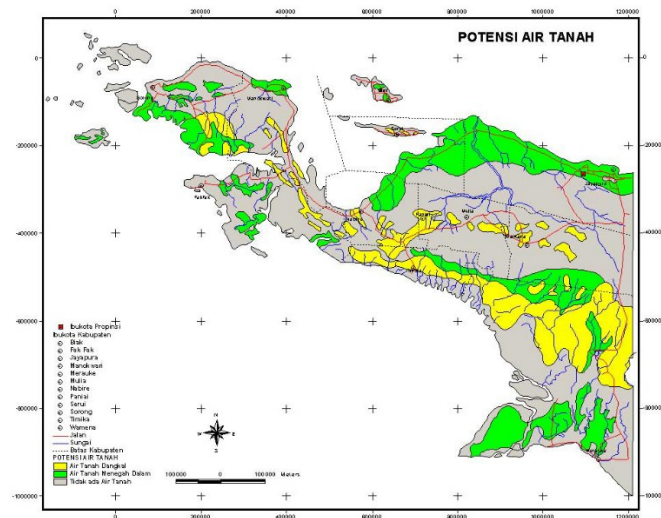
Kelas Tutupan	Luas Wilayah (Ha)
Belukar Rawa	987
Hutan Lahan Kering Primer	731.923
Hutan Lahan Kering Sekunder	85.816

Hutan Rawa Primer	30.830
Hutan Rawa Sekunder	25.337
Perkebunan	23.665
Permukiman	1.269
Pertanian Campur Semak	9.332
Pertanian Lahan Kering	9.942
Rawa	324
Semak Belukar	2.972
Tanah Terbuka	2.144

Sumber : RPJMD PAPUA 2018-2023

Berdasarkan jenis hutan dan persebaran wilayah tutupan yang terletak di Kabupaten Keerom, dapat diidentifikasi adanya kelembaban yang tinggi karena banyaknya vegetasi hutan. Kelembaban udara di daerah Kabupaten Keerom cukup tinggi yaitu sekitar 75,6% – 83,9%. Selain kondisi kelembaban, kondisi tekanan dan kecepatan rata-rata angin di daerah kabupaten Keerom masing-masing berkisar antara 1.007, 8 – 1.035, 0 m/s dan 13, 0 – 21, 0 [10]. Kelembaban relatif paling baik atau tinggi biasanya terjadi di pagi atau malam hari, hal ini diakibatkan oleh rendahnya suhu udara [11].

Selain kondisi lingkungan di atas, ada hal yang harus diperhatikan lagi yaitu tingkat keasaman air hujan. Variasi keasaman air hujan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti polusi udara dan komposisi vegetasi di sekitar wilayah tersebut. Berdasarkan pemantauan tingkat keasaman air hujan pH di Sorong, nilai pH selama tahun 2022 berada pada rentang 4,77 – 6,96 yang menunjukkan kondisi air hujan asam hingga cenderung netral. Nilai pH rata-rata sebesar 5,53 menunjukkan bahwa air hujan di Sorong bersifat asam [12]. Sedangkan di Jayapura, tingkat keasaman air hujan berada pada rentang 5,67 – 6,39 yang menandakan air hujan kondisi air hujan ideal hingga air hujan sangat baik cenderung netral, seperti air permukaan. [13].

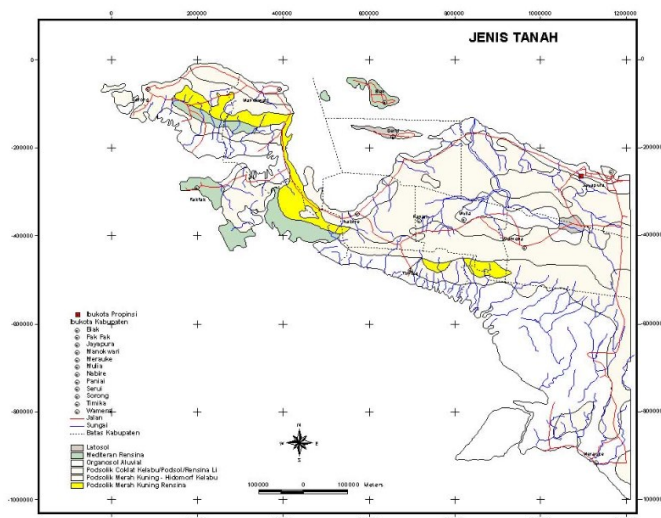


Gambar 1. 4 Peta Potensi Air Tanah

(Sumber: <https://www.papua.go.id/view-detail-peta-1/Potensi-Air-Tanah.html>)

Berdasarkan peta persebaran potensi air tanah di bawah ini, dapat dicocokkan antara wilayah daerah perbatasan Papua dengan legenda peta yang terdiri dari tiga warna. Daerah dengan legenda warna hijau menandakan air tanah dangkal yaitu sedalam 15 m, warna kuning air tanah menengah dalam yaitu sedalam 100-300 m dan warna abu-abu menandakan tidak ada air tanah. Berdasarkan legenda tersebut dapat disimpulkan bahwa Kabupaten Keerom memiliki keterbatasan air tanah yang tinggi.

Terdapat faktor lain yang mendukung keterbatasan air tanah, yaitu jenis tanah di daerah perbatasan hutan Papua terutama Kabupaten Keerom. Untuk jenis tanah di kabupaten Keerom dapat dilihat sesuai dengan peta di bawah ini:



Gambar 1. 5 Peta Persebaran Jenis Tanah di Papua

(Sumber: <https://www.papua.go.id/view-detail-peta-2/jenis-tanah.html>)

Berdasarkan peta persebaran tanah di Papua, terdapat enam legenda yang menandakan persebaran jenis tanah. Legenda warna abu-abu menandakan latosol, warna hijau menandakan mediteran rensina, warna putih menandakan organosol aluvial, warna krem menandakan podsolik coklat kelabu, kuning muda menandakan podsolik merah kuning-hidomorf kelabu dan kuning menandakan podsolik merah-kuning rensina. Berikut merupakan jenis tanah yang terdapat di daerah Kabupaten Keerom diklasifikasikan menjadi:

Tabel 1. 3 Kondisi dan Jenis Air Tanah di Papua

Jenis Tanah	Karakteristik
Podsolik Merah Kuning	- Reaksi tanah sangat masam (pH 3,4-5,0) dan sangat peka terhadap erosi - Mempunyai tingkat kesuburan rendah
Organosol	- Reaksi tanah sangat masam (pH 3,5-5). - Cocok untuk persawahan ladang, palawija, tambak dan kebun kelapa
Podsolik Coklat Kelabu	- Reaksi tanah masam hingga netral (pH 5,0-7,0)

Sumber: Website Pemerintah Provinsi Papua (papua.co.id)

Berdasarkan pengklasifikasian jenis tanah pada **Tabel 1. 3**, dapat disimpulkan bahwa jenis tanah podsolik merah kuning maupun coklat kelabu mendominasi daerah Kabupaten Keerom [14]. Dominasi jenis tanah podsolik merah kuning dan coklat kelabu mempengaruhi akan ketersediaan air tanah karena karakteristiknya yang kurang mendukung akan penyimpanan terhadap air tanah tersebut [15]. Meskipun jenis tanah organosol termasuk dalam kategori tanah yang mampu menyimpan air tanah dengan baik [16]. Akan tetapi, dominasi tanah organosol kalah dengan podsolik. Hal ini menjadi pemicu kendala utama pemenuhan air minum oleh TNI.

1.2.2 Aspek Aksesibilitas

Aksesibilitas berkaitan dengan kemudahan dalam mencapai lokasi yang diinginkan. Secara luas, aksesibilitas dapat diartikan sebagai tingkat kemudahan melakukan pergerakan antara dua tempat. Aksesibilitas merupakan derajat hubungan antara satu tempat ke tempat lain dengan parameter seperti jumlah, biaya, jarak, dan waktu.

Tingkat aksesibilitas yang tinggi pada daerah perbatasan Indonesia dapat diilustrasikan dengan kemampuan mendapatkan air bersih dengan jarak yang dekat, waktu tempuh yang singkat, biaya yang terjangkau, dan jumlah yang memadai sesuai

kebutuhan. Sebaliknya, jika pemakai atau konsumen kesulitan dalam mendapatkan air bersih karena jarak yang jauh, waktu tempuh yang lama, biaya yang tinggi, dan jumlah yang tidak sesuai dengan kebutuhan, maka tingkat aksesibilitasnya rendah.

Akses dari daerah perbatasan hutan di Kabupaten Keerom menuju sumber air bersih sangat sulit karena jalur yang ditempuh melintasi hutan yang dipenuhi semak belukar, sungai dan lembah. Keadaan ini diperparah oleh kondisi cuaca ekstrem, seperti hujan lebat dan banjir yang sering kali merusak jalan dan membuatnya sulit dilalui.



Gambar 1. 6 Akses jalan menuju pos perbatasan melewati sungai
(Sumber: <https://www.rri.go.id/jayapura/daerah/364349/tni-patroli-patok-batas-negara-ri-png-di-keerom>)



Gambar 1. 7 Akses jalan menuju pos perbatasan melewati hutan
(Sumber : <https://tabloidnusantara.com/satgas-yonif-122-ts-bantu-evakuasi-truk-masuk-jurang-di-jalan-lintas-jayapura-wamena/>)



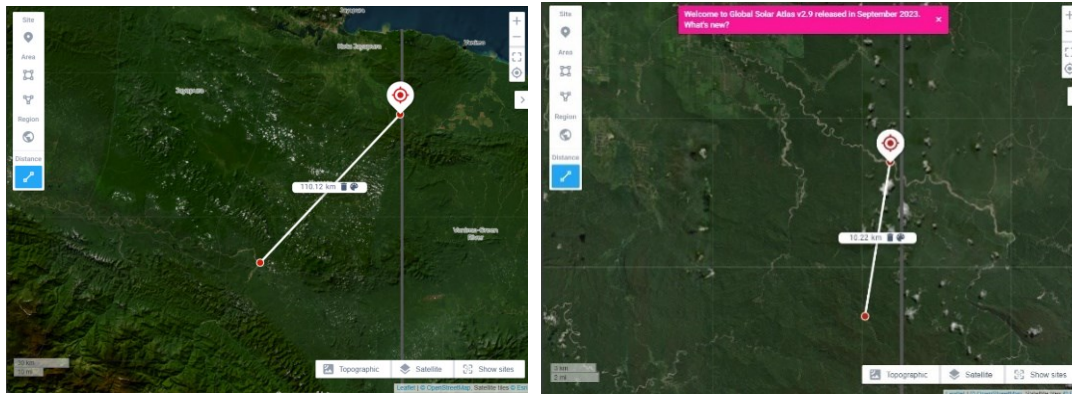
Gambar 1. 8 Akses jalan setapak menuju pos perbatasan

(Sumber : <https://inilahonline.com/pastikan-kondisi-tapal-batas-negeri-tidak-berubah-satgas-yonif-509-susuri-hutan-gunung-dan-sungai-selama-2-hari/>)

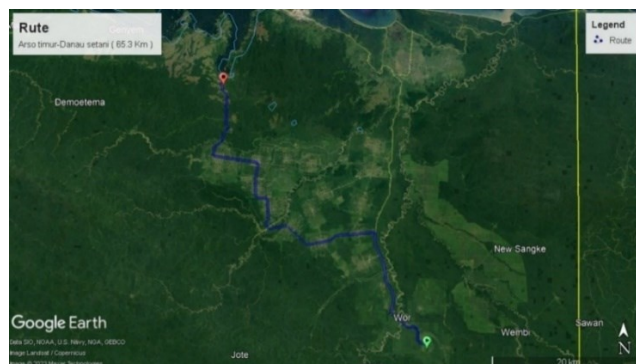
Untuk jarak pos perbatasan Kabupaten Keerom menuju sumber air yang ditarik secara garis lurus seperti Daerah Aliran Sungai Mamberamo dan Sungai Tami (**Gambar 1. 9**) masing-masing ditempuh sejauh 110,12 km dan 10,22 km. Kemudian, pada wilayah perbatasan Arso timur, Kabupaten Keerom dengan sumber air terbesar seperti, Danau Sentani ditempuh sejauh 63,5 km dengan transportasi roda empat.

DAS Mamberamo

Sungai Tami



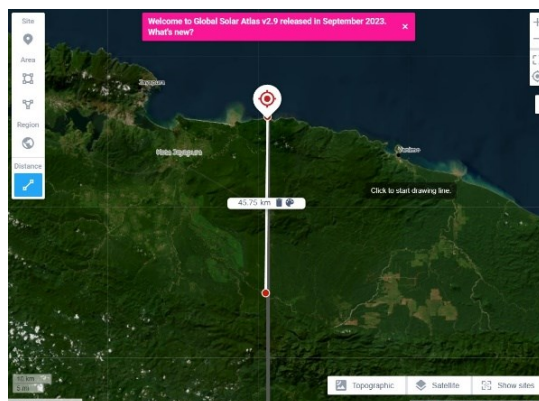
Gambar 1. 9 Jarak Sungai Mamberamo dan Sungai Tami ke Perbatasan



Gambar 1. 10 Jarak perbatasan Arso timur, Kabupaten Keerom dengan Danau Sentani



Gambar 1. 11 Pos jaga TNI perbatasan di Kabupaten Keerom
(Sumber : <https://www.youtube.com/watch?v=GoiR5jG-GGE>)



Gambar 1. 12 Jarak Pos ke Perbatasan Kabupaten Keerom

Sedangkan, untuk jarak pos perbatasan Kabupaten Keerom menuju laut yang ditarik secara garis lurus berjarak sejauh 47,75 km. Dengan demikian, aksesibilitas sangat mempengaruhi terhadap biaya maupun proses pemenuhan kebutuhan air minum TNI di wilayah perbatasan hutan Papua dengan Papua Nugini.

1.2.3 Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi dapat mempengaruhi sejauh mana akses masyarakat terhadap air bersih seperti faktor biaya untuk mendapatkan layanan air bersih. Berikut merupakan tabel perbandingan metode terhadap kapasitas produksi dan harga air minum:

Tabel 1. 4 Perbandingan antara Metode

Metode	Kapasitas Air (L)	Harga Air Minum
Air Kemasan Botol	2	Rp40.000-Rp80.000 [17]
Air Kemasan Galon	19	Rp50.000 [18]

Dengan adanya perbandingan metode, kapasitas air dan harga air minum pada **Tabel 1. 4**, diketahui bahwa perbandingan antara air kemasan botol dan galon dengan kapasitas yang sama akan menjadikan air kemasan botol lebih mahal dibanding dengan air kemasan galon. Selain itu, mobilisasi air kemasan galon dari toko menuju pos perbatasan terkendala akibat kondisi medan terjal dan melewati sungai. Kendala dari proses pengiriman tersebut dapat meningkatkan biaya logistik dan distribusi.

Untuk mendapatkan air menggunakan metode sumur bor, kedalaman tanah untuk mendapatkan sumber air sejauh 100-105 m, sedangkan rata-rata kedalaman sumur bor di pulau Jawa sekitar 125 m [19]. Dengan demikian, masalah tersebut

menjadi landasan dalam memilih solusi terbaik untuk proses pemenuhan kebutuhan air minum TNI di Kabupaten Keerom, Papua.

1.2.4 Aspek Kesehatan

Kualitas air menjadi salah satu parameter utama yang berkontribusi dalam kesehatan tubuh manusia. Manusia dapat terjangkit penyakit akibat konsumsi air maupun makanan yang tidak layak standar kesehatan. Terdapat beberapa kasus kesehatan yang disebabkan oleh buruknya kualitas air, terutama air minum. Contoh kasus akibat kurangnya ketersediaan dan kelayakan air minum menyebabkan *stunting* pada anak [20]. Air minum yang layak harus berasal dari sumber yang layak. Air minum layak dikonsumsi apabila memiliki indikator kesehatan sesuai dengan kondisi dan sifat air seperti pada **Tabel 1. 5**.

Tabel 1. 5 Syarat Air Minum Layak Komsumsi

Kondisi	Keterangan
Mikrobiologi	- Tidak mengandung bakteri E-coli dan koliform
Fisika	- Bebas zat kimia beracun - PH air berada di sekitar 6,5-8,5 - Kekeruhan < 5 NTU (Nephelometric Turbidity Unit)
Kimia	- Tidak berbau - Tidak berasa - TDS maksimum 500 mg/l - Tingkat warna maksimal 15 TCU (True Colour Units) - Suhu maksimal ± 3 derajat Celsius dibanding suhu lingkungan

Sumber: P2PTM Kemenkes RI

Dengan demikian, berdasarkan penelitian terkait kualitas sumber air terutama sungai di Kabupaten Keerom dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 1. 6 Kualitas Air dari Hulu Muara Tami

Parameter	SATUAN	Baku Mutu	PERHITUNGAN					
			M. Tami 1	M.Tami 2	Ci	Lix	Ci/Lix	Ci/Lix Baru
Temperatur	oC	Deviasi 3	28	31,4		Deviasi 3		
TDS	mg/l	1000	138		138	1000	0,138	0,138
TSS	mg/l	50	285		285	50	5,7	5,7
pH	-	6 s/d 9	7,87	7,36	787	6 s/d 9	0,2466667	0,24666667
DO	mg/l	6	6,01	2	4,005	6	2,995	2,995
COD	mg/l	10	10	15	12,5	10	1,25	1,25
BOD	mg/l	2	2,2		2,2	600	0,0036667	0,0036667
Fluorida, F	mg/l	0,5	0,32		0,32	0,5	0,64	0,64
NO3	mg/l	10	5,5		5,5	0,5	11	6,20696343
NO2	mg/l	0,06	0,022		0,022	0,5	0,044	0,044
Phosphat, PO4	mg/l	0,2	0,37		0,37	0,2	1,85	2,33585864
S-SH2S	mg/l	0,02	0,049		0,049	0,02	2,45	2,94583042
Minyak dan lemak	mg/l	1000	543	473	508	1000	0,508	0,508
Deterjesn sbg MBAS	ug/l	200	0,38		0,38	200	0,0019	0,0019
Chromium	mg/l	0,05	0,022		0,022	0,05	0,44	0,44
Cadmium, CD	mg/l	0,01	0,005		0,005	0,01	0,5	0,5
Zinc, Zn	mg/l	0,05	0,043		0,043	0,05	0,86	0,62749226
Tembaga, Cu	mg/l	0,02	0,047		0,047	0,02	2,35	2,85533931
Kobalt, Co	mg/l	0,02	0,079		0,079	0,2	0,395	0,395
Mercury, Hg	mg/l	0,002	0		0	0,002	0	0
Fenol	ug/l	1	13		13	1	13	6,56971676
Clorine bebas	mg/l	0,03	0,35		0,35	0,03	11,666667	6,33473395
Timbal, Pb	mg/l	0,03	0,012		0,012	0,03	0,4	0,4
Fecal coli	mg/l	1000	7		7	1000	0,007	0,007
Total coliform	mg/l	5000	14		14	5000	0,0028	0,0028
(Ci/Lij) R^2								3,18622005
(Ci/Lij) M^2								43,1611783
Pij								4,81390685
Memenuhi Nilai Rujukan ($1,0 < Pij \leq 5,0$ maka cemar ringan								

Sumber: Laporan Kualitas Air 2016

Tabel 1. 7 Kualitas dari Hilir Sungai Tami

Parameter	SATUAN	Baku Mutu	PERHITUNGAN					
			M. Tami 1	M.Tami 2	Ci	Lix	Ci/Lix	Ci/Lix Baru
Temperatur	oC	Deviasi 3	29,8	30,7		Deviasi 3		
TDS	mg/l	1000	585		585	1000	0,585	0,585
TSS	mg/l	50	194		194	50	3,88	3,88
pH	-	6 s/d 9	7,4	7,56	7,56	6 s/d 9	0,04	0,04
DO	mg/l	6	5,68	7,5	6,59	6	0,41	0,41
COD	mg/l	10	15	20	17,5	10	1,75	2,2151902
BOD	mg/l	2	3,78		3,78	600	0,0063	0,0063
Fluorida, F	mg/l	0,5	0,16		0,16	0,5	0,32	0,32
NO3	mg/l	10	2,4		2,4	0,5	4,8	4,4062062
NO2	mg/l	0,06	0,009		0,009	0,5	0,018	0,018
Phospat, PO4	mg/l	0,2	216		2,16	0,2	10,8	6,1671188
S-SH2S	mg/l	0,02	0,015		0,015	0,002	0,75	0,3753063
Minyak dan lemak	mg/l	1000	1015	473	744	1000	0,744	0,744
Deterjesn sbg MBA	ug/l	200	0,91		0,91	200	0,00455	0,00455
Chromium	mg/l	0,05	0,01		0,001	0,05	0,02	0,02
Cadmium, CD	mg/l	0,01	0,003		0,003	0,01	0,3	0,3
Zinc, Zn	mg/l	0,05	0,024		0,024	0,05	0,48	-0,593894
Tembaga, Cu	mg/l	0,02	0,039		0,039	0,02	1,95	2,4017306
Kobalt, Co	mg/l	0,02	0,071		0,071	0,2	-0,355	0,355
Mercury, Hg	mg/l	0,002	0		0	0,002	0	7,393768
Fenol	ug/l	1	19		19	1	19	0
Clorine bebas	mg/l	0,03	0,26		0,26	0,03	8,66667	5,6892605
Timbal, Pb	mg/l	0,03	0,0014		0,014	0,03	0,46667	0,466667
Fecal coli	mg/l	1000	67		6778	1000	0,067	0,067
Total coliform	mg/l	5000	78			5000	0,0156	0,0156
(Ci/Lij) R^2								2,2827723
(Ci/Lij) M^2								54,667805
Pij								5,3362242
Memenuhi Nilai Rujukan ($0,5 < Pij \leq 10,0$ maka cemar sedang								

Sumber: Laporan Kualitas Air 2016

Berdasarkan tabel di atas kualitas air sungai Tami di bagian hulu termasuk dalam kategori tercemar ringan dikarenakan indikator beberapa polutan melebihi dari baku mutu yang telah ditetapkan. Indikator polutan pada sungai Hulu Tami yang melebihi baku mutu terdiri dari kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) 285 mg/L dari 50 mg/L, komponen kimia organik berupa Fenol sebanyak 13 $\mu\text{g/L}$ dari 1 $\mu\text{g/L}$, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebanyak 3,87 mg/L dari 3 mg/L, Tembaga (Cu) sebanyak 0,047 mg/L dari 0,024 mg/L, Klorin sebanyak 0,35 mg/L dari 0,03 mg/L. Sedangkan Hilir Sungai Tami termasuk dalam kategori tercemar sedang karena kandungan indikator polutan pada sungai Hilir Tami yang melebihi baku mutu terdiri dari kandungan TSS 194 mg/L dari 50 mg/L, minyak dan lemak 1015 $\mu\text{g/L}$ dari 1000 $\mu\text{g/L}$, tembaga 0,039 mg/L dari 0,024 mg/L, dan Klorin 0,26 mg/L dari 0,03 mg/L. Berdasarkan kategori *Pollutan Indeks* (PI) apabila kondisi $1 < Pij \leq 5,0$ termasuk dalam cemar ringan sedangkan, apabila kondisi *Pollutan Indeks* (PI) $0,5 < Pij \leq 10,0$ termasuk dalam cemar sedang. Dengan demikian, berdasarkan tabel di atas

kondisi sungai Hulu Tami memiliki nilai Pij 4,81 sehingga termasuk dalam kategori cemar ringan dan untuk sungai Hilir Tami memiliki nilai Pij 5,3 sehingga termasuk dalam kategori cemar sedang.

1.3 Tujuan Capstone

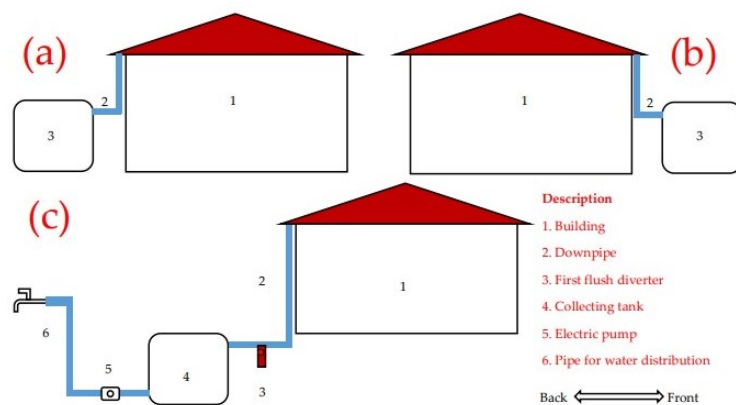
Mengacu pada pemahaman latar belakang permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya, tujuan penelitian ini adalah mengembangkan alat yang dapat memproduksi air menggunakan teknologi dehumidifikasi berupa *Atmospheric Water Generator* (AWG) untuk membantu memenuhi air minum TNI. Alat tersebut dibuat efisien dalam menghasilkan air minum dan portabel sehingga mudah dipindahkan dan dibawa. Penelitian ini bertujuan untuk menghadirkan solusi praktis dan inovatif dalam membantu memenuhi air minum di daerah hutan perbatasan RI-Papua Nugini dengan akses terbatas terhadap sumber air seperti sungai, danau, dan air tanah.

1.4 Analisa Solusi yang Ada

Dalam upaya mengatasi masalah terkait keterbatasan pasokan air di daerah perbatasan, penting untuk mempertimbangkan berbagai solusi yang telah ada dan telah diterapkan. Beberapa solusi yang sudah ada untuk mendapatkan air bersih seperti Sistem Penampungan Air Hujan (SPAH), sumur, desalinasi air laut, dan AWG. Sedangkan, solusi untuk mendapatkan air minum yang sesuai dengan syarat kualitas air minum yang sudah ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan yaitu filtrasi air. Beberapa solusi untuk mendapatkan air bersih sebagai berikut:

1.4.1 Sistem Penampungan Air Hujan (SPAH)

Sistem Penampungan Air Hujan (SPAH) merupakan metode yang digunakan untuk mengumpulkan dan memanfaatkan kembali air hujan sebagai suplai air bersih. Keberlanjutan lingkungan menjadi salah satu keunggulan SPAH karena dapat mengurangi ketergantungan pada sumber air tawar yang terbatas. Selain itu, penerapan SPAH dapat memberikan kontribusi positif dalam mengurangi risiko banjir dan erosi tanah dengan menangkap air hujan sebelum mencapai permukaan tanah. Ada beberapa jenis SPAH yang telah banyak digunakan, yaitu sistem halaman belakang, sistem *frontage*, dan sistem bawah tanah. Sistem halaman belakang dan *frontage* juga disebut sebagai sistem pengumpulan tanpa memiliki sistem distribusi [21].



Gambar 1. 13 Skema Sistem Penampungan Air Hujan

(Sumber: Jurnal A Review of Rainwater Harvesting in Malaysia: Prospects and Challenges)

Curah hujan merupakan faktor paling penting dalam pengelolaan sistem pemanenan air hujan. Daerah dengan musim kemarau yang berkepanjangan atau curah hujan yang tinggi memerlukan opsi sumber air alternatif atau wadah penampungan yang lebih besar. Ada tiga komponen dasar yang harus ada dalam sistem pemanenan air hujan, yaitu:

- 1) *Catchment*, yaitu penangkap air hujan berupa permukaan atap
- 2) *Delivery system*, yaitu sistem penyaluran air hujan dari atap ke tempat penampungan melalui talang, pipa bawah, penyaringan, penampungan pertama, dan
- 3) *Storage reservoir*, yaitu tempat menyimpan air hujan berupa tong, bak atau kolam

Air hujan umumnya bersih dan tidak terkontaminasi, sehingga memiliki tingkat kebersihan yang tinggi dan bebas dari mikroorganisme. Akan tetapi, ketika air hujan bersentuhan dengan permukaan tempat penangkapan dan tangki penampungan air hujan, air tersebut berpeluang terkontaminasi oleh zat fisik, kimia, dan mikrobiologi [22].

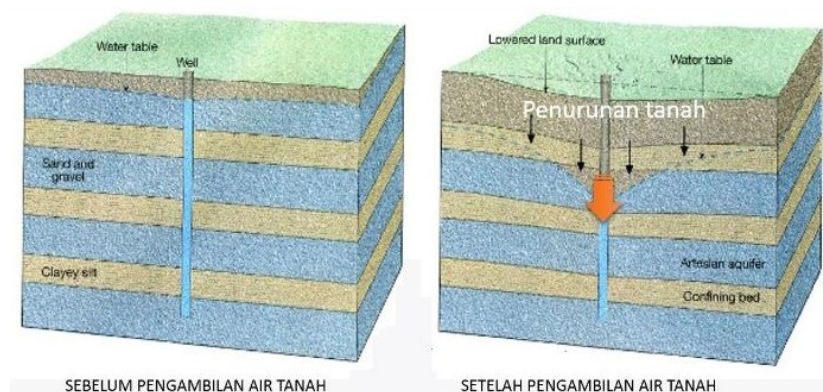
Berdasarkan jurnal “Kualitas Air Hujan di Desa Sirongo Kecamatan Tidore Utara Kota Tidore Kepulauan” SPAH memiliki ukuran besar dan bersifat tidak portabel atau tidak bisa dipindahkan biasanya dirancang untuk memenuhi kebutuhan air bersih dalam skala yang luas, seperti untuk industri, pemukiman padat, atau area yang membutuhkan pasokan air yang besar dan stabil. SPAH memiliki dimensi besar yang mampu menampung sejumlah besar air hujan, namun ketersediaan air yang

signifikan ini sangat tergantung pada pola iklim di wilayah setempat. Keberhasilan pengumpulan air hujan oleh SPAH akan terkait erat dengan curah hujan yang dialami oleh daerah tersebut [23].

1.4.2 Sumur Bor

Sumur bor merupakan metode umum yang digunakan dalam upaya eksplorasi dan pemanfaatan sumber air tanah guna memenuhi berbagai kebutuhan, seperti konsumsi manusia, pertanian, industri, dan keperluan lainnya [24]. Penggunaan sumur bor ini diperuntukkan bagi daerah yang tidak memiliki mata air dan air permukaan. Air tanah atau air dari sumur bor cenderung lebih bersih karena melalui proses filtrasi alami.

Sumber air tanah biasanya terletak pada lapisan akuifer, yang merupakan lapisan tanah berpori yang dapat menampung air di antara butir-butir tanah. Akan tetapi, pengambilan air yang berlebihan dari lapisan akuifer dapat meningkatkan risiko migrasi air tawar ke dalam lapisan tersebut. Perubahan ini dapat terjadi ketika air tawar mengalir ke lapisan akuifer setelah habisnya air tanah paleo dalam lapisan tersebut, yang dapat dipicu oleh eksploitasi yang berlebihan terutama selama musim kemarau [25].



Gambar 1. 14 Skema Pembangunan Sumur Bor

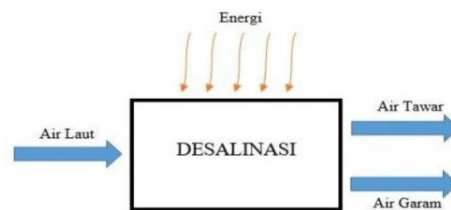
Sumber: <https://perumdatirtapatriot.co.id/pemanfaatan-air-tanah-saat-ini/>

Dalam proses pembuatan sumur bor, penggunaan pompa dengan kemampuan menyemprotkan air bertekanan tinggi sangat diperlukan. Tekanan tinggi ini memungkinkan air yang disemprotkan untuk mengangkat dan mendorong material yang terlepas dari dasar lubang sumur, yang disebabkan oleh proses pembuatan sumur [26]. Penggunaan sumur bor untuk penyediaan air bersih memiliki potensi yang baik

namun, penggunaan ini sangat bergantung pada kondisi geografis dan kualitas air tanah.

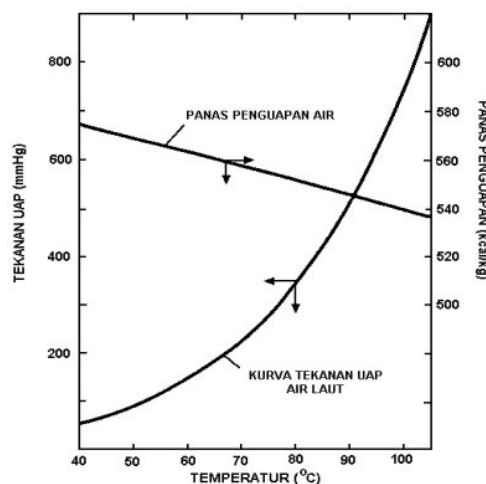
1.4.3 Desalinasi Air Laut

Dalam upaya memenuhi kebutuhan akan pasokan air bersih melalui pemanfaatan air laut. Desalinasi adalah suatu proses teknologi yang digunakan untuk mengekstrak air tawar dari air payau atau air laut [21]. Dalam proses desalinasi, air laut dipanaskan untuk menguapkan air dari larutan garam dan uap air yang dihasilkan, kemudian dikondensasi untuk menghasilkan air tawar. Proses ini menghasilkan air tawar dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan metode lainnya [27]. Meskipun air laut biasanya mendidih pada suhu 100°C pada tekanan atmosfer, namun dapat mendidih di bawah 100°C jika tekanan dikurangi, sebagaimana tergambar pada **Gambar 1. 16**. Pada tahap penguapan, panas penguapan terkandung dalam uap air, yang berperan sebagai panas laten. Saat uap air dikondensasi, panas laten dilepaskan dan dapat dimanfaatkan untuk pemanasan awal air laut.



Gambar 1. 15 Desalinasi Air Laut

Sumber: Jurnal “Penyediaan Air Bagi Masyarakat Pesisir Terdampak Kekeringan dengan Teknologi Desalinasi Air Laut Sederhana”



Gambar 1. 16 Kurva Desalinasi Air Laut

Dalam proses desalinasi, air laut berfungsi sebagai bahan mentah untuk menghasilkan air tawar, serta sebagai media pendingin di mana jumlah air laut yang dibutuhkan berkisar antara 8 hingga 10 kali dari volume air tawar yang dihasilkan [27]. Tantangan umum yang muncul dalam segala jenis sistem desalinasi adalah akumulasi kerak dan korosi pada peralatan. Jika kerak terbentuk pada tabung penukar panas evaporator, hal ini dapat mengakibatkan penurunan efisiensi termal dan produksi air tawar. Proses ini cenderung boros energi dan tidak ekonomis untuk daerah-daerah di dunia yang membutuhkan pasokan air bersih. Selain mahal, desalinasi menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan karena menghasilkan larutan limbah. Selain itu, juga memerlukan akses ke sumber air bersih yang tidak selalu tersedia.

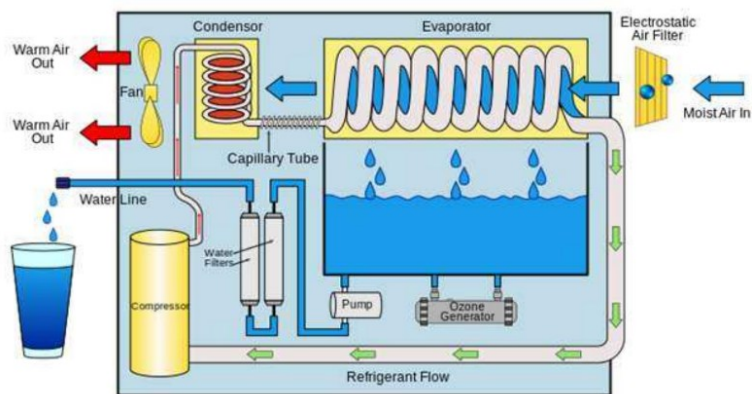
1.4.4 Atmospheric Water Generator (AWG)

Air dapat dihasilkan dari udara atmosfer dengan menggunakan proses dehumidifikasi. Sistem ini mampu menghasilkan air minum di berbagai lokasi dengan memanfaatkan sumber daya eksternal. Dehumidifikasi merupakan proses penghilangan uap dari udara atau gas atmosfer [28].

Ada beberapa metode yang digunakan untuk dehumidifikasi dengan tiga teknologi utama, yaitu mengembunkan uap air melalui permukaan pendingin, menggunakan bahan absorben untuk menyerap uap air, dan membran pemisah gas [28]. Bagian berikut ini mengulas berbagai teknologi dalam sistem termodinamika untuk mendinginkan permukaan dan mengembunkan uap air di udara.

1.4.4.1 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU)

Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU) merupakan suatu sistem yang terdiri dari evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Elemen-elemen tersebut mengubah zat dari fase uap menjadi fase cair melalui kerja mekanis dan perpindahan panas antara komponen-komponen tersebut [28]. Proses ini diilustrasikan dalam gambar di bawah



Gambar 1. 17 Diagram Skema AWG SRKU atau SRKU

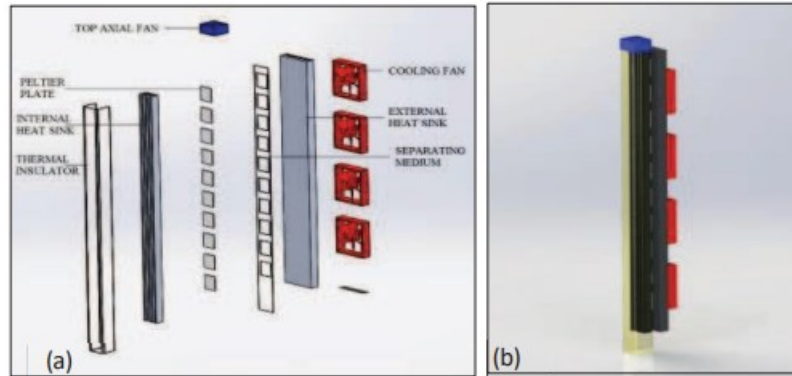
(Sumber: Jurnal “Atmospheric Water Generator”)

Refrigeran masuk ke kompresor, yang berupa udara bertekanan rendah. Pada proses kompresi, refrigeran ditekan untuk menghasilkan tekanan yang lebih tinggi sehingga temperaturnya menjadi lebih tinggi saat masuk kondensor. Selanjutnya proses kondensasi, karena temperatur refrigeran yang masuk ke kondensor lebih tinggi maka panasnya akan dibuang atau dilepas ke lingkungan. Kipas angin biasanya digunakan untuk meningkatkan laju perpindahan panas dari refrigeran ke udara sekitar dengan memaksakan aliran udara tambahan di atas kumparan kondensor [28]. Dari proses kondensasi, refrigeran akan mengalami perubahan fase yaitu dari fase gas menjadi fase cair sehingga temperaturnya turun. Refrigeran berfase cair dari kondensor akan mengalir ke katup ekspansi. Proses ekspansi, refrigeran akan diturunkan tekanannya dari tinggi ke rendah. Pengurangan tekanan ini memungkinkan sistem berlanjut, dengan refrigeran yang bersuhu rendah dan bertekanan rendah ke evaporator. Suhu di dalam evaporator lebih rendah daripada suhu lingkungan yang memungkinkan perpindahan panas.

1.4.4.2 Pendingin Termoelektrik

Pendingin termoelektrik menggunakan Efek Peltier untuk menurunkan suhu udara di bawah titik embun. Efek Peltier terjadi ketika arus searah diterapkan pada logam yang berbeda sehingga menyebabkan pelepasan atau penyerapan panas di persimpangan [29]. Sistem semikonduktor didoping dan dihubungkan secara elektrik (seri) dan secara termal (paralel) serta tertutup dengan substrat keramik [29]. Proses doping menciptakan kelebihan (tipe-n) atau kekurangan (tipe-p), sehingga panas diserap di sisi dingin dan ditransfer ke sisi panas sistem [28]. Elektron menyerap

panas di sisi dingin saat berpindah dari semikonduktor tipe-p ke tipe-n [28]. Diagram skema *Atmospheric Water Generator (AWG) Thermo Electric Cooler (TEC)* ditunjukkan pada gambar di bawah



Gambar 1. 18 Diagram Skema AWG TEC

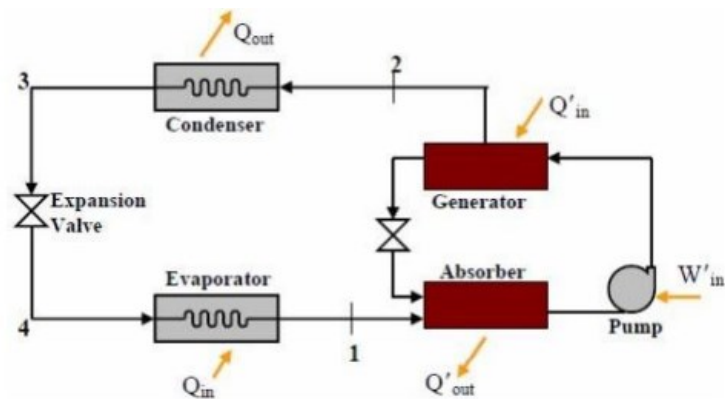
(Sumber: Jurnal berjudul *Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler*)

Struktur dari AWG TEC di atas yaitu saluran pendingin yang terdiri modul Peltier, pendingin eksternal, kipas pendingin pada pendingin eksternal, kipas aksial, dan bagian dalam pendingin [29]. Berat dari AWG TEC yang dibuat pada penelitian yang berjudul “*Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler*” sebesar 10,6 kg [29]. Udara lembab memasuki sistem dari ujung atas karena gaya hisap yang dihasilkan oleh kipas aksial. Kemudian, melewati saluran pendingin termoelektrik sehingga panas diserap dari udara oleh modul Peltier. Udara mulai mendingin dan suhu mencapai titik embun. Air akan terkondensasi di atas pendingin internal, mengalir ke bawah dan dikumpulkan. Jumlah air yang dihasilkan sebanding dengan laju aliran massa udara, sehingga jumlah air yang terkondensasi semakin meningkat. Kondensasi air berbanding lurus dengan kelembaban udara karena kandungan uap air massa udara.

Jumlah maksimal air yang diperoleh tanpa menggunakan *heatsink* internal didapat sebanyak 45 ml, sedangkan, dengan menggunakan *heatsink* jumlah air sebanyak 240 ml [29]. AWG TEC lebih sederhana karena tidak memiliki bagian yang bergerak dan tidak ada zat pendingin. Tetapi, AWG TEC memiliki efisiensi yang rendah sehingga konsumsi energi lebih tinggi. Selain itu, produktivitas air menggunakan AWG TEC rendah.

1.4.4.3 Sistem Refrigerasi Absorpsi Uap (SRAU)

Sistem Refrigerasi Absorpsi Uap (SRAU) memiliki kemiripan dengan SRKU atau SRKU karena keduanya memakai evaporator, kondensor, dan katup ekspansi [28]. Tetapi SRAU menggunakan energi panas sebagai penggeraknya bukan energi mekanik [28]. SRAU mengganti kompresor dengan absorber dan generator, yang diperlihatkan pada **Gambar 1. 19**, serta penggunaan dua fluida kerja, yaitu absorben dan refrigeran [28].



Gambar 1. 19 Diagram Skema SRAU

(Sumber: Jurnal berjudul "Atmospheric Water Generation")

Proses dimulai ketika uap refrigeran keluar dari evaporator dan masuk ke absorber dan dicampur dengan absorben yang dingin. Hal ini mengakibatkan kondensasi pada refrigeran sehingga berubah fase menjadi cair dan membentuk larutan absorben-refrigeran. Larutan tersebut dipompa dari absorber tekanan rendah ke generator tekanan tinggi. Larutan dipanaskan menggunakan sumber eksternal, seperti energi matahari atau limbah panas. Hal tersebut menyebabkan berkurangnya kelarutan zat pendingin dan masuk ke kondensor. Di kondensor, zat pendingin ini menyelesaikan sistem melalui katup ekspansi dan evaporator, mengembunkan uap air dari udara sekitar. [28].

Dasar kerja sistem ini adalah kemampuan "absorben cair dapat menarik dan mempertahankan fase uap refrigeran pada suhu yang relatif rendah, dan kelarutan uap dalam larutan penyerap menurun seiring dengan peningkatan suhu larutan" [28]. Oleh karena itu, refrigeran diserap pada tekanan dan suhu rendah, kemudian dilepaskan pada suhu dan tekanan tinggi. Larutan Refrigeran-Absorben yang umum digunakan antara lain amonia-air atau litium-bromida, keduanya memiliki risiko beracun dan korosif [28].

Pergantian kompresor dengan peralatan penyerapan dan penggunaan penyerap yang berpotensi berbahaya membuat desain sistem SRAU lebih kompleks dan membutuhkan lebih banyak ruang dan peralatan. Oleh karena itu, teknologi ini lebih umum digunakan dalam aplikasi industri yang lebih besar, sementara tidak seefisien atau menguntungkan seperti SRKU untuk operasi hidroponik.

Berikut di bawah ini merupakan perbandingan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing solusi yang sudah ada.

Tabel 1. 8 Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Solusi yang Ada

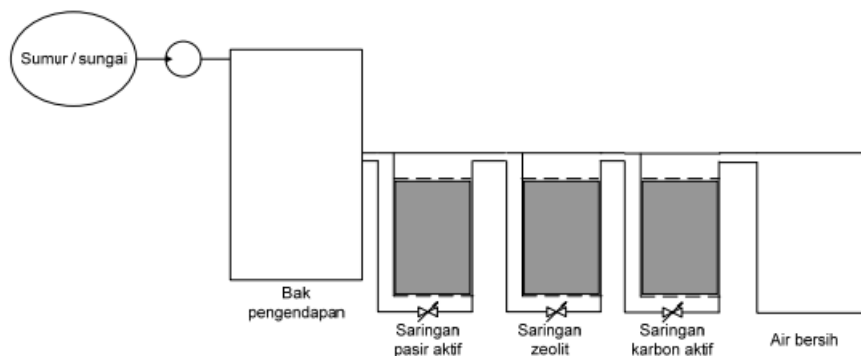
Solusi	Kelebihan	Kekurangan
SPAH	- Keberlanjutan lingkungan - Mengurangi risiko banjir dan erosi - Biaya investasi murah	- Ketidakpastian kualitas air - Bergantung dengan cuaca - Membutuhkan sistem penyimpanan air yang tepat - Tidak bisa portabel
Sumur bor	- Akses air bawah tanah yang lebih bersih - Tidak bergantung pada cuaca	- Menyebabkan penurunan tanah - Di daerah perbatasan sumber air tanah sedikit - Tidak bisa portabel
Desalinasi Air Laut	- Sumber air laut melimpah	- Konsumsi energi yang besar - Menghasilkan limbah air garam - Efek korosif dapat memengaruhi sistem - Relevan untuk daerah pesisir - Tidak bisa portabel
AWG	- Sumber daya uap air melimpah atau tak terbatas - Ramah lingkungan - Portabel (mudah dipindahkan dan dibawa)	- Besarnya jumlah energi yang dikonsumsi dan tingginya biaya operasional.

Berdasarkan perbandingan kelebihan dan kekurangan dari beberapa solusi penyediaan air, dapat disimpulkan bahwa AWG menawarkan sejumlah keunggulan yang signifikan. Meskipun terdapat beberapa kekurangan, keunggulan-keunggulan

tersebut mendukung pengambilan solusi berupa AWG untuk memenuhi kebutuhan pasokan air. AWG menonjol karena sumber daya uap air yang melimpah dan tidak terbatas. Selain itu, memiliki dampak lingkungan yang minim dan bersifat portabel sehingga memungkinkan penggunaan di berbagai lokasi tanpa membahayakan ekosistem sekitar. Meskipun besarnya jumlah energi yang dikonsumsi dan tingginya biaya operasional merupakan kekurangan, teknologi ini dapat diusahakan untuk terus ditingkatkan agar lebih efisien dan ekonomis.

1.4.5 Sistem Filtrasi Air

Pemerintah Republik Indonesia mengeluarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Manajer proyek pemurnian air IBM Bob Allen, menyatakan bahwa saat ini air bersih menjadi langka dan penyakit yang disebabkan oleh air kotor mempengaruhi hampir seluruh penduduk dunia [30]. Oleh karena itu, metode yang efisien diperlukan untuk memurnikan air. Skema penyaringan air terdapat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. 20 Diagram Skema Sistem Filtrasi Air

(Sumber: Jurnal yang berjudul “Kajian Kelayakan Air Sungai Cikapundung Sebagai Air Bersih”)

Alat-alat yang dibutuhkan untuk penyaringan atau pemurnian air yaitu bak pengendapan, tiga buah kolom penyaringan, media penyaringan berupa pasir aktif, mangan zeolit/zeolit, karbon aktif, *valve*, pipa, dan selang penghubung antar bak dan media penyaringan, serta tempat penampungan air bersih [30]. Berikut beberapa filter yang umum digunakan:

1. Filter pasir aktif, umumnya terdiri dari media granula berbasis pasir silika dan berfungsi menghilangkan partikel padat dari air dan menyaring beberapa kontaminan anorganik

2. Filter zeolit, terbuat dari mineral alam zeolit dengan struktur mikro pori yang berfungsi mengurangi kadar logam berat
3. Filter karbon aktif, terdiri dari karbon aktif yang memiliki struktur pori yang besar berfungsi menghilangkan bau, rasa, dan beberapa zat kimia organik dari air
4. Filter Ultra Violet (UV), melibatkan radiasi ultraviolet yang berperan untuk inaktivasi mikroorganisme seperti bakteri dan virus.

Penggunaan filter UV efektif dalam mengurangi risiko kontaminasi mikrobiologis, sementara filter yang lainnya fokus pada penyaringan partikular dan zat kimia tertentu.

1.5 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Akses yang terbatas terhadap sumber air minum di daerah perbatasan, seperti Kabupaten Keerom, merupakan salah satu permasalahan utama. Kendala utama dirasakan oleh TNI di wilayah perbatasan, ketika menghadapi keterbatasan pasokan air minum yang memadai. Ketersediaan pasokan air minum yang memadai adalah prioritas utama bagi kesehatan dan kinerja petugas TNI di lapangan. Oleh karena itu, pengembangan AWG menjadi langkah penting dalam memproduksi air untuk membantu memenuhi kebutuhan air minum TNI.

Pengembangan AWG dilakukan dengan tujuan menciptakan solusi yang bersifat portabel, dengan fokus pada efisiensi logistik dalam penyediaan air minum yang layak konsumsi sesuai standar Kemenkes RI. AWG menggunakan teknologi dehumidifikasi untuk menghasilkan air. Hasilnya merupakan bentuk air layak minum sesuai standar Kemenkes untuk penunjang kebutuhan air minum TNI.

Dengan demikian, pengembangan AWG yang bersifat portabel ini memiliki potensi besar untuk menjadi solusi yang sangat penting bagi petugas TNI yang bertugas di daerah perbatasan seperti Kabupaten Keerom. Solusi ini diharapkan dapat secara signifikan meningkatkan ketersediaan air layak minum sesuai standar Kemenkes, serta berkontribusi pada penunjang kesehatan petugas TNI saat melaksanakan tugas di wilayah perbatasan.