

Meminimalisasi Tingkat Kehilangan Air Baku Dengan Menggunakan Sistem Dinamis di PT. AQUA

Minimizing Raw Water Loss Using a Dynamic System Approach at PT AQUA

Delfitriani Delfitriani¹, Fadia Wardatul Jannah^{1a}, Ahmad Syarbaini¹

¹Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Ilmu Pangan Halal, Universitas Djuanda, Jl. Tol Ciawi No. 1, Ciawi, Kabupaten Bogor, Jawa Barat, Indonesia, 16720.

^aKorespondensi : Delfitriani Delfitriani, E-mail: delfitriani@unida.ac.id

Diterima: 19 – 09 – 2023 , Disetujui: 30 – 04 - 2026

ABSTRACT

Bottled Drinking Water is raw water that has undergone a treatment process, is safely packaged, and meets quality standards for human consumption. In bottled drinking water production, one of the main problems that can reduce company efficiency is water loss, commonly known as Non-Revenue Water (NRW). NRW directly affects PT AQUA because it increases the amount of wasted water, reduces production output, and potentially increases operational costs through raw water waste, energy consumption, machine maintenance, and production process supervision. In addition to affecting the company, water loss may also increase pressure on water resource utilization; therefore, it needs to be controlled sustainably. This study aims to identify the factors causing raw water loss in the bottled drinking water production process at PT AQUA and to analyze a dynamic system model that can be used to project production conditions. The method used in this study is a dynamic system approach supported by Powersim software. The model was developed based on three production subsystems, namely 19 L gallon products, 600 ml bottle products, and 220 ml cup products, and was validated using the Welch Confidence Interval method. The validation results show that the simulation model does not differ significantly from the real system, indicating that the model is suitable for scenario simulation. The results show that the optimistic scenario is the best alternative for reducing water loss and increasing production output. This scenario can be implemented through regular maintenance, inspection and repair of equipment and machines, improved employee supervision, and control of water volume pressure during the production process.

Keywords: bottled drinking water, water loss, non-revenue water, dynamic system, scenario

ABSTRAK

Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) merupakan produk air baku yang telah melalui proses pengolahan, dikemas secara aman, dan memenuhi standar mutu untuk dikonsumsi. Dalam proses produksi AMDK, salah satu permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi perusahaan adalah kehilangan air atau *Non-Revenue Water* (NRW). NRW berdampak langsung pada PT AQUA karena menyebabkan meningkatnya jumlah air yang terbuang, menurunnya hasil produksi, serta berpotensi meningkatkan biaya operasional melalui pemborosan air baku, energi, perawatan mesin, dan pengawasan proses produksi. Selain berdampak pada perusahaan, kehilangan air juga dapat meningkatkan tekanan terhadap penggunaan sumber daya air sehingga perlu dikendalikan secara berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kehilangan air baku pada proses produksi AMDK di PT AQUA serta menganalisis model sistem dinamis yang dapat digunakan untuk memproyeksikan kondisi produksi. Metode yang digunakan adalah pendekatan sistem dinamis dengan bantuan perangkat lunak Powersim. Model dikembangkan berdasarkan tiga subsistem produksi, yaitu produk galon 19 L, botol 600 ml, dan cup 220 ml, kemudian divalidasi menggunakan metode *Welch Confidence Interval*. Hasil validasi menunjukkan bahwa model simulasi tidak berbeda secara signifikan dengan kondisi sistem nyata sehingga layak digunakan untuk simulasi skenario. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario optimistik merupakan alternatif terbaik dalam menurunkan kehilangan air dan meningkatkan hasil produksi. Skenario ini dilakukan melalui maintenance berkala, pengecekan dan perbaikan alat serta mesin, peningkatan pengawasan karyawan, serta pengendalian tekanan volume air selama proses produksi.

Kata kunci: air minum dalam kemasan, kehilangan air, *non-revenue water*, sistem dinamis, skenario

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya utama yang sangat diperlukan oleh makhluk hidup untuk memenuhi kebutuhan dasar dan menopang keberlangsungan hidup. Ketersediaan air tidak hanya penting bagi kebutuhan rumah tangga, tetapi juga menjadi faktor utama dalam berbagai kegiatan industri, termasuk industri pengolahan air minum. Menurut Salim (2019), kebutuhan terhadap air bersih terus meningkat seiring dengan bertambahnya aktivitas manusia dan perkembangan sektor industri.

Berdasarkan letaknya, air baku dapat diperoleh dari beberapa sumber, antara lain air hujan, air permukaan, air laut, dan air tanah. Di Indonesia, sumber air yang banyak digunakan oleh masyarakat maupun industri adalah air tanah, baik air tanah dangkal maupun air tanah dalam. Kebutuhan terhadap air mendorong pemerintah maupun pihak swasta untuk mencari sumber air bersih yang memadai serta menerapkan teknologi pengolahan yang tepat agar air tersebut dapat dimanfaatkan secara aman dan berkelanjutan (Sari & Situmorang, 2020; Aini, 2019).

Salah satu bentuk pemanfaatan air baku dalam sektor industri adalah pengolahan Air Minum Dalam Kemasan (AMDK). AMDK merupakan air baku yang telah melalui proses pengolahan, dikemas secara aman, dan memenuhi standar kualitas untuk dikonsumsi. Air minum dalam kemasan harus memenuhi persyaratan mutu, baik dari aspek fisik, kimia, maupun mikrobiologi, sehingga produk yang dihasilkan aman bagi konsumen (Deas & Rusdi, 2021).

Dalam proses penyediaan dan produksi air minum, salah satu permasalahan utama yang sering terjadi adalah kehilangan air atau *Non-Revenue Water* (NRW). NRW merupakan air yang telah masuk ke dalam sistem produksi atau distribusi, tetapi tidak seluruhnya menjadi produk akhir yang dapat dimanfaatkan atau memberikan nilai ekonomi bagi perusahaan. Menurut Beratha et al., (2020), kehilangan air merupakan salah satu permasalahan penting dalam pengelolaan air minum karena dapat menurunkan efisiensi sistem dan meningkatkan beban operasional perusahaan.

Pada perusahaan pengolahan air seperti PT AQUA, kehilangan air baku dapat terjadi pada berbagai tahapan proses produksi AMDK. Kehilangan tersebut dapat disebabkan oleh *reject* produk, *water over filling*, *overflow filler*, maupun kerusakan dan ketidakefisienan alat serta mesin produksi. Apabila kondisi ini tidak dikendalikan, maka jumlah air yang terbuang akan meningkat, hasil produksi menurun, dan penggunaan air baku menjadi tidak efisien.

Dampak NRW tidak hanya dirasakan oleh perusahaan, tetapi juga berkaitan dengan keberlanjutan penggunaan sumber daya air. Bagi perusahaan, NRW dapat meningkatkan biaya operasional karena air yang telah dipompa dan diproses tidak seluruhnya menjadi produk akhir. Bentuk peningkatan biaya tersebut dapat berupa meningkatnya kebutuhan energi untuk pemompaan dan pengolahan air, biaya perawatan mesin, biaya pengawasan proses produksi, serta kerugian akibat berkurangnya hasil produksi. Selain itu, kehilangan air yang tinggi dapat memberikan tekanan tambahan terhadap sumber air baku karena perusahaan harus menggunakan lebih banyak air untuk mencapai target produksi.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kehilangan air merupakan persoalan penting dalam sistem pengelolaan air. Beratha et al. (2020) melakukan evaluasi kehilangan air pada sistem distribusi Perumda Air Minum Tirta Mangutama wilayah pelayanan Kuta dan menunjukkan bahwa kehilangan air perlu dikendalikan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan air. Sementara itu, Hidayat (2011) menggunakan pemodelan dinamik untuk menganalisis investasi dalam upaya meminimalkan tingkat kehilangan air pada PDAM Kota Tegal. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa kehilangan air tidak hanya menjadi persoalan teknis, tetapi juga berkaitan dengan pengambilan keputusan, efisiensi biaya, dan keberlanjutan pengelolaan air.

Pemodelan sistem dinamis merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menganalisis permasalahan kehilangan air karena mampu menggambarkan hubungan sebab-akibat antarvariabel dalam suatu sistem. Menurut Hidayat (2011), pemodelan sistem dinamis merupakan metode matematika dan komputasional yang digunakan untuk menggambarkan interaksi antarvariabel serta memprediksi perilaku sistem pada masa mendatang. Pendekatan ini sesuai digunakan pada proses produksi AMDK karena kehilangan air dipengaruhi oleh banyak variabel yang saling berhubungan, seperti jumlah air masuk melalui *watermeter*, *total reject*, *overflow filler*, *water over filling*, serta kondisi alat dan mesin produksi.

Keunggulan sistem dinamis terletak pada kemampuannya untuk memproyeksikan perilaku sistem dalam jangka panjang dan menguji berbagai alternatif skenario sebelum diterapkan pada kondisi nyata. Melalui pendekatan ini, perusahaan dapat membandingkan skenario moderat, optimistik, dan pesimistik dalam upaya mengurangi kehilangan air baku. Selain itu, penggunaan *causal loop diagram* dan *stock flow diagram* dapat membantu menggambarkan keterkaitan antarvariabel dalam sistem produksi secara lebih sistematis, sebagaimana dijelaskan oleh E. Wirijadinata & Afriany (2017).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kehilangan air baku pada proses produksi AMDK di PT AQUA serta menganalisis model sistem dinamis yang dapat digunakan untuk memproyeksikan kondisi produksi. Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya karena berfokus pada kehilangan air baku dalam proses produksi Air Minum Dalam Kemasan, khususnya pada produk galon 19 L, botol 600 ml, dan cup 220 ml. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif kebijakan bagi PT AQUA dalam menurunkan tingkat kehilangan air, meningkatkan efisiensi operasional, dan mendukung pengelolaan air baku yang lebih berkelanjutan.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di PT AQUA Golden Mississippi, Cicurug, Kabupaten Sukabumi. Objek penelitian adalah proses produksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) yang terdiri atas tiga jenis produk, yaitu galon 19 L, botol 600 ml, dan cup 220 ml. Fokus penelitian diarahkan pada identifikasi faktor-faktor penyebab kehilangan air baku atau *Non-Revenue Water (NRW)* selama proses produksi berlangsung. Penelitian ini menggunakan pendekatan sistem dinamis untuk menggambarkan hubungan antarvariabel penyebab kehilangan air, melakukan simulasi model, serta menyusun alternatif skenario perbaikan.

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah pengumpulan data. Data diperoleh melalui survei langsung ke lokasi penelitian, observasi proses produksi, serta pengumpulan data yang berkaitan dengan penggunaan air baku, hasil produksi, dan jumlah kehilangan air pada setiap lini produksi. Pada tahap ini juga dilakukan perumusan dan pendefinisian masalah untuk memahami kondisi aktual sistem produksi AMDK di PT AQUA. Perumusan masalah diperlukan agar batasan sistem, variabel yang diamati, dan tujuan pemodelan dapat ditentukan secara jelas.

Tahapan kedua adalah identifikasi sistem. Identifikasi sistem dilakukan dengan menentukan variabel-variabel yang berpengaruh terhadap kehilangan air pada masing-masing subsistem produksi. Sistem yang dikembangkan terdiri atas tiga subsistem utama, yaitu subsistem hasil produk air galon 19 L, subsistem hasil produk air botol 600 ml, dan subsistem hasil produk air cup 220 ml. Setiap subsistem memiliki variabel penyebab kehilangan air yang berbeda, seperti *watermeter*, *total reject*, *water over filling*, *overflow filler*, serta beberapa jenis *reject* yang terjadi selama proses produksi.

Tahapan ketiga adalah penyusunan model konseptual. Model konseptual dibuat untuk menggambarkan hubungan sebab-akibat antarvariabel dalam sistem produksi. Hubungan antarvariabel tersebut digambarkan menggunakan *causal loop diagram* sehingga dapat diketahui variabel yang memberikan pengaruh positif maupun negatif terhadap hasil produksi dan kehilangan air. Penggunaan *causal loop diagram* bertujuan untuk memperjelas struktur sistem sebelum diterjemahkan ke dalam model matematis dan simulasi.

Tahapan keempat adalah formulasi model. Pada tahap ini, hubungan antarvariabel yang telah diidentifikasi diterjemahkan ke dalam bentuk persamaan matematis. Formulasi model digunakan untuk menggambarkan hubungan antara jumlah air yang masuk, jumlah *reject*, dan hasil produksi pada setiap subsistem. Model matematis tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan *stock and flow diagram* menggunakan perangkat lunak Powersim. Menurut E. Wirijadinata & Afriany (2017), *causal loop diagram* dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan antarunsur dalam suatu sistem, sedangkan *stock and flow diagram* digunakan untuk menunjukkan struktur aliran dan akumulasi dalam model sistem dinamis.

Tahapan kelima adalah pemodelan sistem dinamis. Model sistem dinamis dibangun berdasarkan kondisi nyata proses produksi AMDK di PT AQUA. Pemodelan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Powersim untuk mensimulasikan perilaku sistem produksi dari waktu ke waktu. Model yang dibangun mencakup tiga subsistem produksi, yaitu galon 19 L, botol 600 ml, dan cup 220 ml. Setiap subsistem disusun berdasarkan variabel input, variabel kehilangan air, dan variabel output berupa hasil produksi. Pemodelan sistem dinamis digunakan karena metode ini mampu menggambarkan interaksi antarvariabel serta memproyeksikan perilaku sistem pada masa mendatang, sebagaimana dijelaskan oleh Hidayat (2011).

Tahapan keenam adalah simulasi dan validasi model. Simulasi dilakukan dengan menjalankan model yang telah dibuat pada perangkat lunak Powersim untuk mengetahui perilaku sistem produksi. Setelah model disimulasikan, dilakukan proses validasi untuk memastikan bahwa model dapat mewakili kondisi sistem nyata. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data aktual menggunakan metode *Welch Confidence Interval*. Menurut Elmadhania (2017), verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa model telah diimplementasikan dengan benar dalam perangkat lunak, sedangkan validasi dilakukan untuk menilai kesesuaian perilaku model dengan kondisi nyata.

Validasi model dilakukan melalui pengujian hipotesis sebagai berikut:

$$1. H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad (1)$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \quad (3)$$

Dimana :

H_0 : Hipotesis nol

H_1 : Hipotesis alternatif

μ_1 = rata - rata output dari sistem nyata

μ_2 = rata - rata output dari hasil simulasi

2. Menghitung Standar deviation dengan rumus :

$$Df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\left[\left(\frac{S_1^2}{n_1} \right)^2 / (n_1 - 1) + \left(\frac{S_2^2}{n_2} \right)^2 / (n_2 - 1) \right]} \quad (3)$$

Dimana :

Df = defree of freedom

S = Standar deviasi

n = banyak data

3. Menghitung half-widch equation (hw) dengan rumus :

$$hw = t_{df, \alpha/2} \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}} \quad (4)$$

Dimana :

hw (half width) = nilai error terhadap rata rata data

t = nilai pada t tabel

S = standar deviasi

n = banyak data

α = Alfa (significance level)

4. Menentukan nilai Confidence interval dengan rumus :

$$P[(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - hw \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + hw] \quad (5)$$

Dimana :

μ_1 = rata - rata output dari sistem nyata

μ_2 = rata - rata output dari hasil simulasi.

hw (half width) = nilai error terhadap rata rata data

\bar{x}_1 = rata-rata (mean) aktual

\bar{x}_2 = rata-rata (mean) simulasi

Jika nilai nol berada dalam rentang *confidence interval*, maka H_0 diterima. Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara output model simulasi dan kondisi sistem nyata, sehingga model dapat dinyatakan valid.

Perhitungan validasi dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahap pertama adalah menghitung nilai *standard deviation* untuk mengetahui penyimpangan data. Tahap kedua adalah menghitung nilai *half width* untuk menentukan batas kesalahan terhadap rata-rata data. Tahap ketiga adalah menentukan nilai *confidence interval* untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan antara data aktual dan data simulasi. Persamaan yang digunakan dalam proses validasi mengikuti rumus *Welch Confidence Interval* sebagaimana tercantum dalam naskah.

Tahapan terakhir adalah penyusunan skenario. Setelah model dinyatakan valid, dilakukan simulasi skenario sebagai dasar pengambilan keputusan. Skenario disusun untuk melihat kemungkinan perubahan hasil produksi dan kehilangan air dalam jangka waktu sepuluh tahun. Terdapat tiga skenario yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu skenario moderat, skenario optimistik, dan skenario pesimistik. Skenario moderat menggambarkan kondisi perbaikan sedang, skenario optimistik menggambarkan kondisi terbaik dengan upaya perbaikan yang lebih intensif, sedangkan skenario pesimistik menggambarkan kondisi ketika perusahaan tidak melakukan perbaikan secara optimal. Hasil dari ketiga skenario tersebut digunakan untuk menentukan alternatif kebijakan yang paling tepat dalam upaya meminimalkan kehilangan air baku dan meningkatkan efisiensi produksi AMDK di PT AQUA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Variabel Sistem Dinamis Proses Produksi

Proses produksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) di PT AQUA terdiri atas beberapa tahapan yang saling berkaitan, mulai dari masuknya air baku hingga menjadi produk akhir.

Dalam proses tersebut, kehilangan air dapat terjadi akibat *reject* produk, *water over filling*, *overflow filler*, maupun ketidakefisienan alat dan mesin produksi. Oleh karena itu, identifikasi variabel dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi kehilangan air atau *Non-Revenue Water* (NRW) pada setiap lini produksi.

Variabel dalam model sistem dinamis dikelompokkan ke dalam tiga subsistem, yaitu subsistem produk galon 19 L, botol 600 ml, dan cup 220 ml. Pada subsistem galon 19 L, variabel yang digunakan meliputi *Watermeter Galon* (WG), *Total Reject Galon* (TRG), *Water Over Filling Galon* (WFG), *Overflow Filler Galon* (OFG), dan *Reject Galon* (RG). Pada subsistem botol 600 ml, variabel yang digunakan meliputi *Watermeter Botol* (WB), *Total Reject Botol* (TRB), *Reject Blowing Botol* (RBB), *Reject Filling Botol* (RFB), *Water Over Filling Botol* (WFB), dan *Overflow Filler Botol* (OFB). Sementara itu, pada subsistem cup 220 ml, variabel yang digunakan meliputi *Watermeter Cup* (WC), *Total Reject Cup* (TRC), *Reject Thermoforming* (RT), *Reject Nozzle* (RN), *Reject Heater* (RH), *Reject Cutter* (RC), *Reject Conveyor* (RCY), *Reject Packing* (RP), *Water Over Filling Cup* (WFC), dan *Overflow Filler Cup* (OFC).

Secara umum, *watermeter* berperan sebagai variabel input yang menunjukkan jumlah air yang masuk ke dalam proses produksi, sedangkan *reject*, *water over filling*, dan *overflow filler* merupakan variabel penyebab kehilangan air. Semakin tinggi nilai kehilangan air, semakin rendah jumlah hasil produksi yang dihasilkan. Dengan demikian, identifikasi variabel ini menjadi dasar dalam penyusunan model sistem dinamis, formulasi persamaan, serta pengembangan skenario perbaikan untuk meminimalkan kehilangan air baku pada proses produksi AMDK di PT AQUA.

Formulasi Model Produksi Air

Formulasi model dilakukan untuk menerjemahkan hubungan antarvariabel dalam sistem produksi AMDK ke dalam bentuk persamaan matematis. Model ini menggambarkan hubungan antara jumlah air yang masuk melalui *watermeter*, total kehilangan air atau *reject*, dan jumlah hasil produksi pada setiap subsistem. Secara umum, hasil produksi diperoleh dari selisih antara jumlah air yang masuk dan total *reject* yang terjadi selama proses produksi.

Pada subsistem galon 19 L, hasil produksi dipengaruhi oleh *Watermeter Galon* (WG) dan *Total Reject Galon* (TRG). Total *reject* pada subsistem ini berasal dari *Overflow Filler Galon* (OFG), *Water Over Filling Galon* (WFG), dan *Reject Galon* (RG). Formulasi model pada subsistem galon 19 L adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Hasil Produksi Galon} = \text{WG} - \text{TRG} \quad (6)$$

$$\text{TRG} = \text{OFG} + \text{WFG} + \text{RG} \quad (7)$$

Pada subsistem botol 600 ml, hasil produksi dipengaruhi oleh *Watermeter Botol* (WB) dan *Total Reject Botol* (TRB). Total *reject* pada subsistem ini berasal dari *Overflow Filler Botol* (OFB), *Water Over Filling Botol* (WFB), *Reject Filling Botol* (RFB), dan *Reject Blowing Botol* (RBB). Formulasi model pada subsistem botol 600 ml adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Hasil Produksi Botol} = \text{WB} - \text{TRB} \quad (8)$$

$$\text{TRB} = \text{OFB} + \text{WFB} + \text{RFB} + \text{RBB} \quad (9)$$

Pada subsistem cup 220 ml, hasil produksi dipengaruhi oleh *Watermeter Cup* (WC) dan *Total Reject Cup* (TRC). Total *reject* pada subsistem ini berasal dari *Overflow Filler Cup* (OFC), *Water Over Filling Cup* (WFC), *Reject Thermoforming* (RT), *Reject Nozzle* (RN), *Reject Heater* (RH), *Reject Cutter* (RC), *Reject Conveyor* (RCY), dan *Reject Packing* (RP). Formulasi model pada subsistem cup 220 ml adalah sebagai berikut:

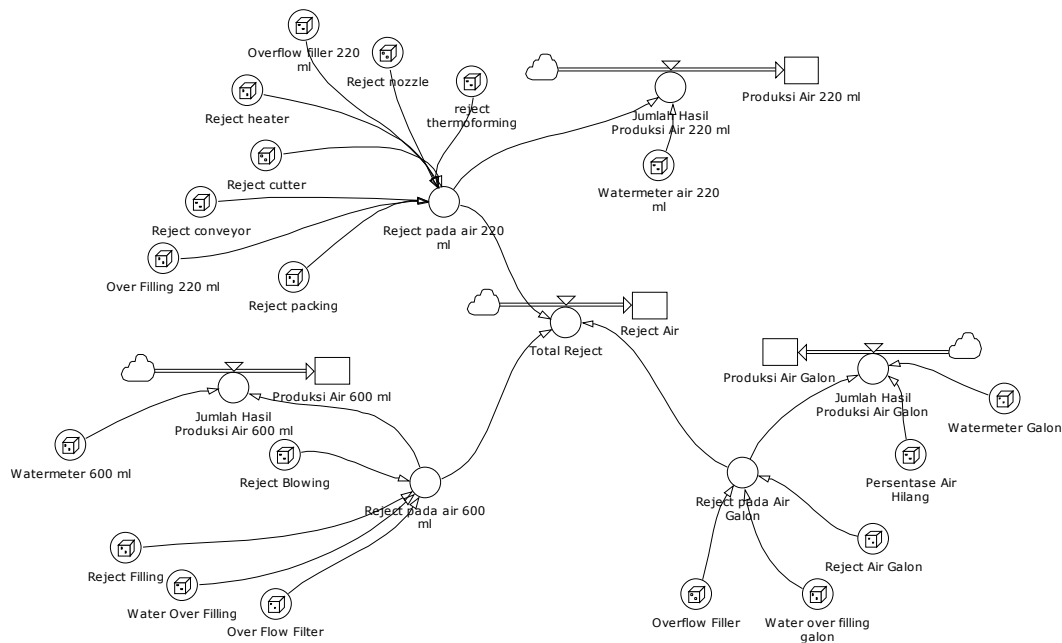
$$\text{Jumlah Hasil Produksi Cup} = \text{WC} - \text{TRC} \quad (10)$$

$$TRC = OFC + WFC + RT + RN + RH + RC + RCY + RP(11)$$

Berdasarkan formulasi tersebut, peningkatan nilai *watermeter* akan berpengaruh positif terhadap potensi hasil produksi, sedangkan peningkatan total *reject* akan menurunkan jumlah produk akhir. Oleh karena itu, pengendalian *reject*, *water over filling*, dan *overflow filler* pada setiap subsistem menjadi faktor penting dalam upaya meminimalkan kehilangan air baku pada proses produksi AMDK di PT AQUA.

Pemodelan Sistem Dinamis Produksi Air

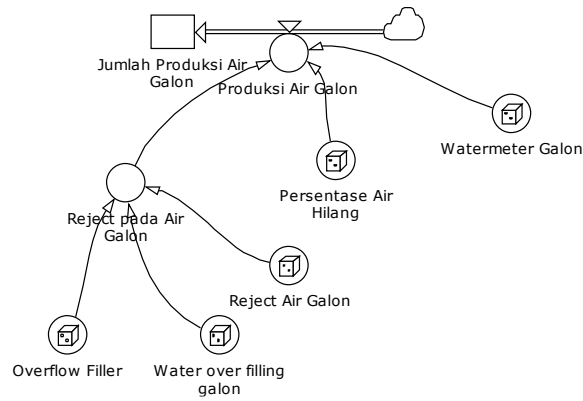
Pemodelan sistem dinamis produksi air dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang memengaruhi proses produksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) di PT AQUA. Model ini dikembangkan untuk menggambarkan hubungan antara jumlah air yang masuk, kehilangan air, dan hasil produksi pada tiga subsistem utama, yaitu galon 19 L, botol 600 ml, dan cup 220 ml. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak Powersim dengan pendekatan *stock and flow diagram* (SFD) agar hubungan antarvariabel dapat disimulasikan secara dinamis. Hasil dari pemodelan produksi AMDK di PT AQUA dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Produksi Air

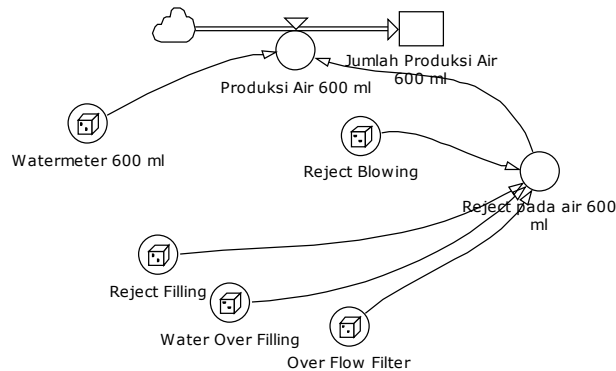
Model produksi air secara umum menunjukkan bahwa hasil produksi dipengaruhi oleh jumlah air yang masuk melalui *watermeter* dan total kehilangan air yang terjadi selama proses produksi. Kehilangan air tersebut berasal dari beberapa variabel, seperti *reject*, *water over filling*, dan *overflow filler*. Semakin besar jumlah kehilangan air, maka semakin rendah hasil produksi yang diperoleh. Sebaliknya, pengendalian terhadap variabel penyebab kehilangan air dapat meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi jumlah air baku yang terbuang.

Model sistem dinamis produksi air dibagi menjadi tiga submodel. Submodel pertama adalah produksi galon 19 L yang menggambarkan hubungan antara *Watermeter Galon* (WG), *Total Reject Galon* (TRG), *Water Over Filling Galon* (WFG), *Overflow Filler Galon* (OFG), dan *Reject Galon* (RG). Hasil SFD pada subsistem galon 19 L dapat dilihat pada Gambar 2.



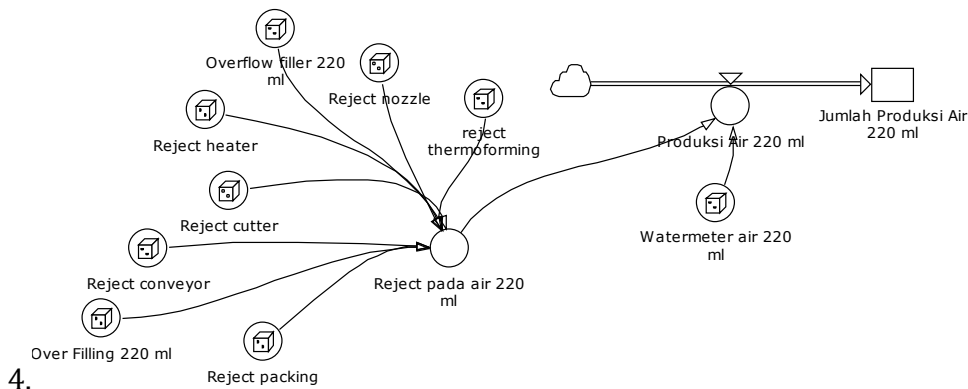
Gambar 2. SFD subsistem Galon 19 L

Submodel kedua adalah produksi botol 600 ml yang melibatkan *Watermeter Botol (WB)*, *Total Reject Botol (TRB)*, *Reject Blowing Botol (RBB)*, *Reject Filling Botol (RFB)*, *Water Over Filling Botol (WFB)*, dan *Overflow Filler Botol (OFB)*. Hasil SFD pada subsistem botol 600 ml dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. SFD subsistem botol 600 ml

Submodel ketiga adalah produksi cup 220 ml yang melibatkan *Watermeter Cup (WC)*, *Total Reject Cup (TRC)*, *Reject Thermoforming (RT)*, *Reject Nozzle (RN)*, *Reject Heater (RH)*, *Reject Cutter (RC)*, *Reject Conveyor (RCY)*, *Reject Packing (RP)*, *Water Over Filling Cup (WFC)*, dan *Overflow Filler Cup (OFC)*. Hasil SFD pada subsistem cup 220 ml dapat dilihat pada Gambar



4.

Gambar 4. SFD subsistem cup 220 ml

Penyusunan model menggunakan SFD bertujuan untuk memperjelas aliran air baku, akumulasi kehilangan air, dan hasil produksi pada setiap subsistem. Melalui model ini, perubahan pada variabel input dan variabel kehilangan air dapat diamati pengaruhnya terhadap hasil produksi. Dengan demikian, model sistem dinamis yang dibangun dapat

digunakan sebagai dasar simulasi untuk mengevaluasi kondisi produksi aktual serta menyusun skenario perbaikan dalam upaya meminimalkan kehilangan air baku di PT AQUA.

Validasi Model Sistem Dinamis Produksi Air

Validasi model dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan kondisi sistem nyata. Model dapat dinyatakan valid apabila hasil perbandingan antara data aktual dan data simulasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada penelitian ini, validasi dilakukan menggunakan metode *Welch Confidence Interval* terhadap tiga subsistem produksi, yaitu galon 19 L, botol 600 ml, dan cup 220 ml.

Pengujian validasi diawali dengan perumusan hipotesis. Hipotesis nol atau H_0 menyatakan bahwa rata-rata output sistem nyata sama dengan rata-rata output hasil simulasi, sedangkan H_1 menyatakan bahwa rata-rata output sistem nyata berbeda dengan rata-rata output hasil simulasi. Model dinyatakan valid apabila nilai nol berada pada rentang *confidence interval*, sehingga H_0 diterima.

Pada subsistem galon 19 L, hasil perhitungan menunjukkan nilai *degree of freedom* sebesar 4,01 dan nilai *half width* sebesar 89.791,58. Berdasarkan hasil *confidence interval*, nilai nol berada pada rentang $\mu_1 - \mu_2$, sehingga H_0 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil simulasi dan kondisi nyata pada subsistem galon 19 L.

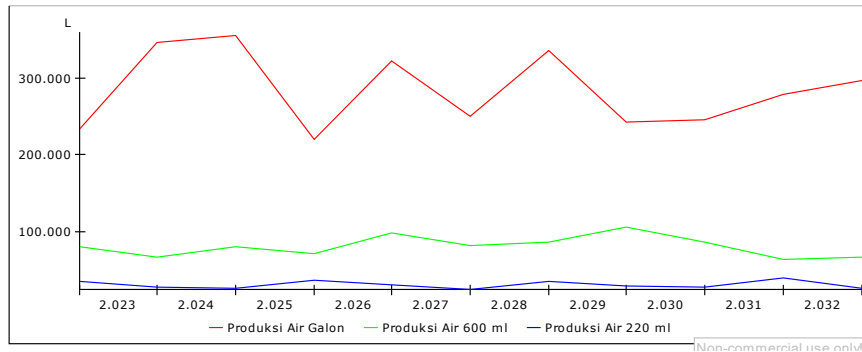
Validasi kedua dilakukan pada subsistem botol 600 ml. Hasil perhitungan menunjukkan nilai *degree of freedom* sebesar 6,129 dan nilai *half width* sebesar 16.941,5. Berdasarkan hasil *confidence interval*, nilai nol juga berada pada rentang $\mu_1 - \mu_2$, sehingga H_0 diterima. Dengan demikian, model simulasi pada subsistem botol 600 ml dapat dinyatakan valid karena mampu menggambarkan kondisi sistem nyata.

Validasi terakhir dilakukan pada subsistem cup 220 ml. Hasil perhitungan menunjukkan nilai *degree of freedom* sebesar 35,901 dan nilai *half width* sebesar 5.051,89. Hasil *confidence interval* menunjukkan bahwa nilai nol berada pada rentang $\mu_1 - \mu_2$, sehingga H_0 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara output model simulasi dan kondisi nyata pada subsistem cup 220 ml.

Berdasarkan hasil validasi pada ketiga subsistem, model sistem dinamis produksi AMDK di PT AQUA dapat dinyatakan valid. Model tersebut dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku sistem produksi dan menjadi dasar dalam penyusunan skenario perbaikan untuk meminimalkan kehilangan air baku pada proses produksi AMDK.

Skenario Sistem Dinamis Produksi Air

Skenario sistem dinamis produksi air disusun untuk mengetahui perubahan hasil produksi AMDK dalam jangka waktu sepuluh tahun berdasarkan kondisi yang berbeda. Penyusunan skenario dilakukan setelah model dinyatakan valid, sehingga model dapat digunakan sebagai dasar simulasi dan pengambilan Keputusan (Agung, 2020). Skenario yang digunakan terdiri atas skenario tanpa perubahan kebijakan, skenario moderat, skenario optimistik, dan skenario pesimistik. Hasil simulasi tanpa perubahan kebijakan produksi AMDK di PT AQUA dapat dilihat pada Gambar 6.

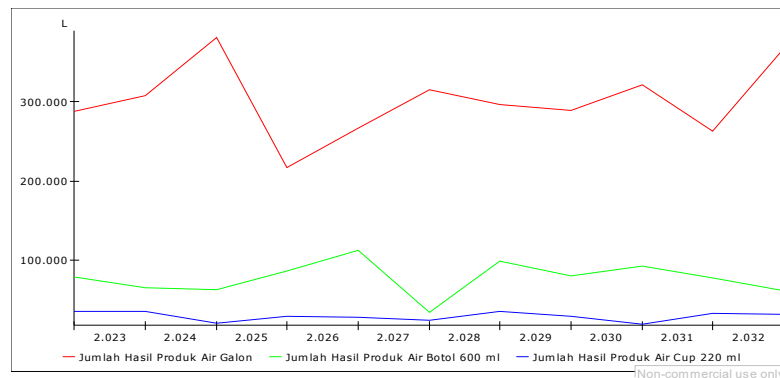


Gambar 6. Hasil Simulasi Produk Air – Tanpa Perubahan Kebijakan

Skenario yang akan digunakan pada produksi air minum dalam kemasan PT. AQUA terbagi kedalam beberapa aspek yang dinilai dapat terjadi dimasa akan datang yaitu proyeksi produksi air galon 19 L, proyeksi produksi air botol 600 ml, dan proyeksi produksi air cup 220 ml yang didalamnya terdapat 3 skenario, yaitu :

1. Skenario Moderat

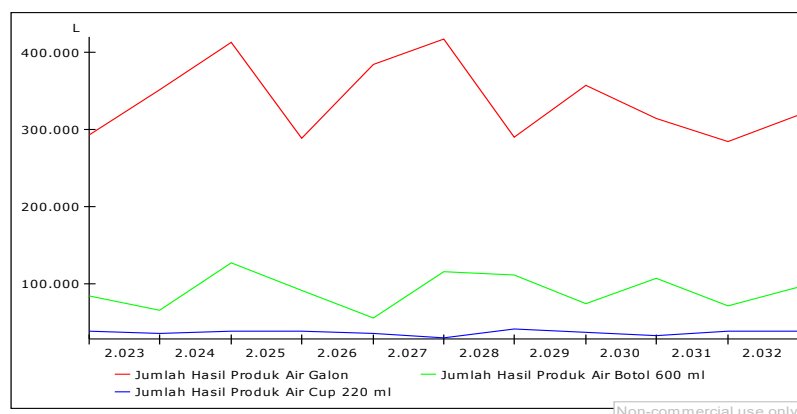
Skenario moderat menggambarkan kondisi perbaikan sedang yang masih memungkinkan untuk diterapkan perusahaan dalam jangka pendek. Pada skenario ini, nilai *watermeter* dinaikkan sebesar 5%, sedangkan nilai *reject*, *water over filling*, dan *overflow filler* pada ketiga subsistem diturunkan sebesar 5% dari kondisi dasar. Upaya yang dilakukan pada skenario ini meliputi pemeliharaan mesin, pengecekan berkala, dan perbaikan ringan terhadap alat produksi. Hasil simulasi skenario moderat menunjukkan adanya peningkatan hasil produksi dibandingkan kondisi dasar. Proyeksi hasil produk air pada skenario moderat dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Proyeksi Hasil Produk Air Skenario Moderat

2. Skenario Optimistisk

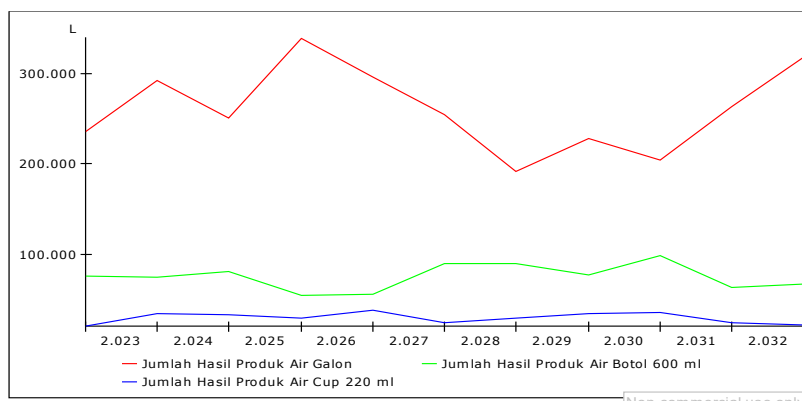
Skenario optimistisk merupakan skenario terbaik yang menggambarkan kondisi ketika perusahaan melakukan upaya perbaikan secara lebih intensif. Pada skenario ini, nilai *watermeter* dinaikkan sebesar 10%, sedangkan nilai *reject*, *water over filling*, dan *overflow filler* diturunkan sebesar 10% dari kondisi dasar. Upaya yang dilakukan meliputi maintenance berkala, pengecekan dan perbaikan alat serta mesin, peningkatan pengawasan terhadap karyawan, serta penerapan manajemen tekanan volume air selama proses produksi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario optimistisk mampu menghasilkan peningkatan produksi lebih besar dibandingkan skenario moderat. Proyeksi hasil produk air pada skenario optimistisk dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Proyeksi Hasil Produk Air Skenario Optimistik

3. Skenario Pesimistik

Skenario pesimistik menggambarkan kondisi terendah yang tidak diharapkan terjadi pada sistem produksi. Pada skenario ini, nilai *watermeter* diturunkan sebesar 5%, sedangkan nilai *reject*, *water over filling*, dan *overflow filler* meningkat sebesar 5% dari kondisi dasar. Kondisi ini dapat terjadi apabila perusahaan tidak melakukan perbaikan, maintenance, maupun pengawasan secara optimal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario pesimistik menyebabkan penurunan hasil produksi dan berpotensi menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Proyeksi hasil produk air pada skenario pesimistik dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Proyeksi Hasil Produk Air Skenario Pesimistik

Berdasarkan hasil simulasi, skenario optimistik merupakan alternatif terbaik karena mampu meningkatkan hasil produksi paling besar melalui penurunan tingkat kehilangan air. Namun, penerapan skenario ini memerlukan komitmen perusahaan dalam bentuk peningkatan pengawasan, perawatan mesin, perbaikan alat, serta pengendalian tekanan volume air. Sementara itu, skenario moderat dapat dijadikan tahap awal penerapan karena lebih realistis dan membutuhkan perubahan yang lebih ringan. Dengan demikian, PT AQUA dapat menerapkan skenario moderat sebagai langkah awal, kemudian secara bertahap mengarah pada skenario optimistik untuk meminimalkan kehilangan air baku dan meningkatkan efisiensi produksi AMDK.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, faktor-faktor yang membangun model sistem dinamis kehilangan air baku pada proses produksi AMDK di PT AQUA terdiri atas tiga subsistem utama, yaitu subsistem produk galon 19 L, botol 600 ml, dan cup 220 ml. Setiap subsistem dipengaruhi oleh variabel *watermeter*, total *reject*, *water over filling*, *overflow filler*, serta beberapa jenis *reject* sesuai dengan karakteristik masing-masing lini produksi. Hasil validasi

menggunakan metode *Welch Confidence Interval* menunjukkan bahwa model simulasi tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan kondisi sistem nyata, sehingga model dapat dinyatakan valid dan layak digunakan untuk memproyeksikan kondisi produksi selama sepuluh tahun ke depan. Hasil simulasi skenario menunjukkan bahwa skenario optimistik merupakan alternatif terbaik karena mampu meningkatkan hasil produksi melalui penurunan kehilangan air. Upaya yang dapat dilakukan perusahaan meliputi *maintenance* berkala, pengecekan dan perbaikan alat serta mesin, peningkatan pengawasan terhadap karyawan, serta penerapan manajemen tekanan volume air selama proses produksi. Sebagai rekomendasi, PT AQUA dapat menerapkan skenario moderat sebagai langkah awal yang lebih realistis, kemudian secara bertahap mengarah pada skenario optimistik agar pengendalian kehilangan air baku dapat dilakukan secara lebih efektif. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisis secara lebih rinci titik-titik kehilangan air dan kerusakan mesin pada setiap lini produksi, sehingga strategi pengendalian *Non-Revenue Water* dapat disusun secara lebih spesifik, terukur, dan aplikatif bagi perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, G. D. (2020). Pemodelan Sistem Dinamis Produksi Tempe “Sumber Mas” Di Kabupaten Jember. 64. <https://Sipora.Polije.Ac.Id/Id/Eprint/2914>
- Aini, S. (2019). Peran Pemerintah Desa Dalam Penyediaan Air Bersih Pada Masyarakat Pesisir Lombok Timur. *Sosio Edukasi Jurnal Studi Masyarakat Dan Pendidikan*, 3(1), 22–27. <https://doi.org/10.29408/Sosedu.V3i1.3511>
- Aminudin, M., Mahbubi, A. & Puspita Sari, R. A. (2014). Simulasi Model Sistem Dinamis Rantai Pasok Kentang Dalam Upaya Ketahanan Pangan Nasional. *Agribusiness Journal*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.15408/Aj.V8i1.5125>
- Beratha, I. M. I., Eryani, I. G. A. P. & Sinarta, I. N. (2020). *Evaluasi Kehilangan Air Pada Sistem Distribusi Perumda Air Minum Tirta Mangutama Wilayah Pelayanan Kuta Dengan Metode Steptest*. 62(1), 538–549.
- Deas, R. & Rusdi, R. (2021). Pt Air Mineral Amanah Insanillahia Kecamatan Limakaum Kabupaten Tanah Datar Tahun 1998-2020. *Jurnal Kronologi*, 3(4), 317–335. <https://doi.org/10.24036/jk.V3i4.342>
- E. Wirijadinata, J. & Afriany, D. (2017). Analisis Peningkatan Kualitas Pelayanan Izin Usaha Perdagangan Dengan Menggunakan Causal Loop Diagram (ClD). *Jurnal Ilmu Administrasi: Media Pengembangan Ilmu Dan Praktek Administrasi*, 14(2), 151–166. <https://doi.org/10.31113/jia.V14i2.110>
- Elmadhania, A. (2017). Optimalisasi Beban Kerja Petugas Keamanan Berdasarkan Standar Tingkat Keamanan (Studi Kasus: Satuan Keamanan Dan Keselamatan Its) [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. In *Bmc Public Health* (Vol. 5, Issue 1).
- Hidayat, T. (2011). Pemodelan Dinamik Analisis Investasi Untuk Meminimalisasi Tingkat Kehilangan Air (Studi Kasus Di Pdam Kota Tegal). *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Ke-2 Tahun 2011 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*, 82–87.
- Salim, M. A. (2019). Analisis Kebutuhan Dan Ketersediaan Air Bersih (Studi Kasus Kecamatan Bekasi Utara). [Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah].
- Sari, Y. & Situmorang, N. (2020). Pengaruh Jarak Kandang Ternak Terhadap Total Coliform Pada Air Sumur Gali Di Desa Klambir. *Biolink (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 6(2), 186–195. <https://doi.org/10.31289/Biolink.V6i2.2470>