

Tema Dies Natalis UKI Toraja 55 :

Perkuat Integritas, Fokus pada Misi dan Wujud Nyatakan Pelayanan

ORASI ILMIAH Dr.Ir. Parea Rusan Rangan, ST.,MT.,CST.,IPM

Syalom, Salam Sejahtera, Assalamualaikum warahmatullahi wa barakatuh,

Om Swastiastu Namu Budaya, Salam Kebajikan, dan selamat pagi

Yang saya hormati,

Bapak Ketua dan Pengurus YPTKM

Bapak Rektor, Ketua Senat, Sekretaris dan Anggota Senat

Sekretaris Universitas, Wakil Rektor Universitas Kristen Indonesia Toraja

Para Ketua Lembaga, Dekan, Ketua Program Studi, Dosen dan semua Sivitas

Akademika Universitas Kristen Indonesia Toraja

Segenap tamu undangan, dan para mahasiswa yang saya cintai

Pertama-tama, pada kesempatan yang berbahagia ini perkenankanlah saya memanjatkan puji syukur ke hadapan TUHAN Yang Maha Mengasihi dalam Kristus Yesus, atas kasih karunia NYA yang tidak henti-hentinya kepada kita semua sehingga pada hari ini kita dapat berkumpul dan terima kasih atas kesempatan yang diberikan kepada saya membacakan Orasi Ilmiah di hadapan rapat Senat Terbuka Universitas Kristen Indonesia Toraja dengan judul:

Menyiapkan Infrastruktur Cerdas dan Ramah Lingkungan di Era Pasca Pandemi Menuju Masyarakat Society 5.0 serta Nature 5.0 yang Berkelanjutan

Bapak ibu dan hadirin yang kami hormati,

Pemerintah dan masyarakat dihadapkan pada era baru pasca pandemi yang menuntut penyesuaian untuk menata kembali daerahnya dengan menyiapkan strategi dan inovasi pembangunan. Infrastruktur menjadi roda penggerak pertumbuhan ekonomi berupa fasilitas fisik, teknis, sistem, ataupun perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk memberikan pelayanan kepada masyarakat dan mendukung jaringan struktur agar pertumbuhan ekonomi dan sosial masyarakat dapat berjalan dengan baik. Pembangunan infrastruktur menimbulkan ekspansi ekonomi ke berbagai sektor, selanjutnya ekspansi ekonomi menimbulkan kebutuhan untuk

memperluas infrastruktur yang ada guna meningkatkan aliran perpindahan barang, jasa dan orang yang beredar atau bersirkulasi di seluruh Indonesia. Masih lemahnya kondisi infrastruktur di Indonesia pasca pandemi yang ditandai dengan kurangnya kualitas dan kuantitas infrastruktur eksisting. Tertundanya aktivitas konstruksi berdampak pada tidak terserapnya bahan baku domestik, menurunnya impor barang modal, dan hilangnya lapangan pekerjaan yang berkontribusi pada meningkatnya angka pengangguran, sehingga tidak ada manfaat ekonomi yang diperoleh dari pembangunan infrastruktur menjadi masalah yang mempengaruhi pertumbuhan ekonomi Indonesia. Infrastruktur merupakan sektor yang memegang peranan penting dalam pembangunan guna meningkatkan pertumbuhan ekonomi suatu daerah, antara lain tersedianya konektivitas dan transportasi yang memfasilitasi masyarakat untuk memobilisasi manusia, barang, jasa dari satu tempat ke tempat lain. Ketersediaan infrastruktur yang memadai dapat mendukung pelayanan dasar dengan menghubungkan kegiatan pembangunan dan ekonomi di berbagai wilayah Indonesia, sehingga dapat meminimalkan kesenjangan ekonomi antara daerah desa dan perkotaan kemudian mendorong pemerataan pembangunan serta meningkatkan produktivitas, daya saing, dan peluang investasi di berbagai sektor. Keberadaan industri 4.0 dewasa ini dengan kemajuan teknologi dapat memberikan nilai tambah, mengarah pada adaptasi pola kehidupan masyarakat *Society 5.0* dan pentingnya menjaga keberlanjutan ekosistem sumber daya alam (*Nature 5.0*) dalam rangka peningkatan produktivitas dan kualitas kehidupan. Masyarakat *Society 5.0* merupakan masyarakat yang berpusat pada manusia yang menyeimbangkan kemajuan ekonomi dengan penyelesaian masalah sosial melalui system yang sangat mengintegrasikan dunia maya dan ruang fisik. Tujuannya memudahkan kebutuhan manusia dengan penggunaan ilmu pengetahuan berbasis teknologi modern, sebagai perkembangan dari revolusi industri 4,0. Sedangkan *Nature 5.0* merupakan konsep regenerasi alam sehingga memungkinkan manusia lebih berperan untuk menemukan teknologi yang membantu kita mempertahankan bumi sebagai tempat tinggal sehingga terjadi proses yang membuat organisme lebih sesuai dengan habitat lingkungannya. Pembangunan infrastruktur dan sektor konstruksi dengan kemajuan teknologi saat ini menawarkan potensi yang besar dalam meningkatkan kinerja proyek dan produktivitas pekerja. Pembangunan dengan menggunakan teknologi dan material yang ramah lingkungan diperlukan untuk dapat memberikan solusi bagi keberlanjutan bumi baik dalam mengurangi emisi karbon, perubahan cuaca, dan penggunaan sumber daya alam demi mencapai pemulihan ekonomi, meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan menjaga keberlanjutan lingkungan hidup.

Strategi menyiapkan infrastruktur cerdas berbasis teknologi modern adalah yang mampu mengintegrasikan dunia fisik dan data digital dalam system energi, konstruksi bangunan serta industri sebagai upaya untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat secara efisien, efektif dan berkelanjutan. Olehnya itu perlu menyiapkan

platform yang dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi, kebutuhan para stakeholder pada berbagai sektor antara lain transportasi, pariwisata, kesehatan, sumber daya air, hingga pengelolaan limbah. Dengan demikian diharapkan menghasilkan suatu daerah yang berketahanan (*resilient*) dan berkelanjutan (*sustainable*) dengan menghasilkan pelayanan yang lebih baik termasuk perbaikan transportasi, sumber daya air, pembuangan limbah, sampai pelayanan kesehatan. Konsep *smart infrastructure* berkontribusi dalam pembentukan lingkungan terbangun dengan kualitas tinggi, sehat, dan regeneratif yang dimodelkan berdasarkan *circular economy* dan dengan dampak positif secara keseluruhan terhadap lingkungan.

Hadirin sekalian yang saya hormati,

Dalam bidang teknik sipil inovasi teknologi diperlukan untuk mendukung perkembangan infrastruktur sampai ke daerah-daerah terpencil di pedesaan. Dimana daerah terpencil tersebut akan menghadapi persoalan keterbatasan penggunaan semen sebagai salah satu bahan bangunan yang tergolong langka karena sulit diperoleh. Disisi lain daerah terpencil tersebut memiliki kekayaan alam berupa limbah jerami dan sekam padi mudah diperoleh. Indonesia merupakan negara agraris penghasil bahan pangan diantaranya beras yang berasal dari tanaman padi. Limbah yang ditinggalkan tanaman padi cukup banyak yaitu batang (jerami) dan sekam. Produksi jerami yang bersumber dari lahan pertanian di Indonesia tercatat dapat menghasilkan sekitar 21,75 ton per tahunnya. Limbah sekam padi dan jerami tersebut bila dibakar dengan suhu tertentu menghasilkan *silica amorf* yang bersifat reaktif sehingga potensial digunakan sebagai bahan mikrosilika. Konversi limbah ini menjadi abu dapat menawarkan kemungkinan untuk kembali menggunakannya dalam system pembuatan semen (Josefa Rosello dkk, 2017).

Hasil penelitian yang kami lakukan menitik beratkan metode eksperimental penggunaan material limbah sebagai bahan pembentuk material Geopolymer sebagai bahan bangunan alternatif dalam campuran beton. Geopolymer adalah campuran mortar atau beton dimana penggunaan semen Portland sebagai bahan pengikat sepenuhnya digantikan oleh bahan lain yang bersifat pozzolan seperti fly ash (abu terbang batubara), abu jerami, abu sekam padi, residu bauksit, tanah laterit, abu vulkanik, redmud, metakaolin dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan alumina (Davidovits 2002). Dalam proses geopolymer, terjadi reaksi kimia antara alumina-silikat oksida (Si_2O_5 , Al_2O_2) dengan alkali polisilikat yang menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Polisilikat umumnya berupa natrium atau kalium silikat yang diperoleh dari industri kimia atau bubuk silika halus sebagai produk sampingan dari proses *ferro-silicon metallurgy*. Proses polikondensasi oleh alkali menjadi poli (sialate-siloxo) diperlihatkan pada persamaan 1.

Pola retak pada struktur beton adalah bentuk dari suatu keadaan dimana terjadi pecah atau pemisahan suatu struktur tanpa terjadi keruntuhan. Pada keadaan dimana retak sudah terjadi maka terbuka juga akses buat masuknya bahan berbahaya kimia, chloride, polusi yang dapat menyebabkan kerusakan beton;

Ketahanan terhadap garam sulfat dan klorida yaitu kemampuan material infrastruktur untuk bertahan terhadap serangan garam sulfat yang meresap masuk, jika berada pada lingkungan yang korosif seperti tanah, laut atau sungai sangat rentan tercemar zat kimia secara terus menerus dan dalam kurun waktu lama, kekuatan beton akan berkurang dan terancam hancur.

Ketahanan terhadap asam sulfat (H_2SO_4) yaitu ketahanan material infrastruktur terhadap asam sulfat yang merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat dan bersifat agresif. Asam ini dapat merusak struktur beton menyebabkan terjadinya bidang retak di permukaan beton hingga berkurangnya volume dan kekuatan beton, juga mempercepat korosi pada tulangan beton.

Tingkat Penyerapan (*Sorptivity*) merupakan ukuran kapasitas medium untuk menyerap cairan dengan kapilaritas. Nilai *Sorptivity* dapat ditentukan berdasarkan garis regresi linear dari grafik hubungan antara jumlah air yang diserap per satuan luas permukaan (I) dengan akar dari waktu hisap ($t^{0.5}$);

Porositas beton normal maupun beton porous merupakan perbandingan volume void (pori) terhadap volume total beton. Porositas beton juga berarti tingkat kepadatan pada konstruksi beton yang berhubungan erat dengan permeabilitas pada beton;

Ketahanan terhadap api atau kebakaran beton geopolimer lebih baik dari pada beton dari semen Portland, dimana pengujian dilakukan mulai dari suhu $100^{\circ}C$ hingga pada suhu $800^{\circ}C$.

Kekuatan tekan, tarik, dan lentur beton geopolymer adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan, tarik maupun lentur yang diterimanya berdasarkan standar atau spesifikasi hasil uji, yang mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan, yang dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa). Banyak jenis mutu beton mulai dari mutu rendah, mutu sedang hingga mutu tinggi, sesuai dengan rumus campurannya sehingga pilihan harus tepat untuk mendirikan sebuah bangunan yang kuat. Kuat tekan beton merupakan kekuatan yang utama pada beton merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul atau diterima beton per satuan luas. Kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton dianggap mencapai 100 % setelah mencapai umur 28 hari. Berdasarkan spesifikasi SNI 03:6825:2002, kuat tekan beton dihitung dengan membagi kuat tekan maksimum yang diterima benda uji selama pengujian dengan luas penampang yang menerima beban (MPa).

Difraksi Sinar-X (*X-Ray Diffraction*) adalah metode untuk menentukan struktur atom dan molekul sebuah Kristal dengan cara mendifraksikan seberkas sinar-X ke segala arah untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat;

Mikrostruktur morfologi dengan menggunakan *scanning electron microscope* yang menggambarkan permukaan material beton padat oleh pemindaian dengan pancaran tinggi electron, sehingga dapat memberikan informasi terkait komposisi kimia dan struktur mikro suatu bahan dengan sangat jelas dengan resolusi ukuran hingga nanometer untuk menjelaskan pengembangan kekuatan. Sebuah revolusi yang berdasar pada teknologi digital seperti pemindaian mikroskop elektron, dispersi energi, dan difraksi sinar-x, yang memungkinkan peneliti untuk menganalisis struktur nano atom dan molekul bahan yang dapat memprediksi kekuatan serta kinerja kimia material. Alat-alat ini memungkinkan untuk menghasilkan material dengan performa yang tinggi.

Teknologi geopolimer dikategorikan sebagai material ramah lingkungan pembuatan bahan dasarnya membutuhkan jumlah energi yang rendah jika dibandingkan dengan produksi semen Portland yang menghasilkan emisi gas CO₂ dalam jumlah yang besar, dan menggunakan bahan dasar dari limbah industri sehingga lebih ekologis, membantu mencegah pemanasan global, memanfaatkan bahan limbah efektif sehingga mengurangi resiko pembuangan limbah. Pada saat yang sama menjaga sumber daya alam yang semakin menipis. Selain mendorong penggunaan material limbah untuk pembangunan infrastruktur nasional yang ramah lingkungan, juga meningkatkan potensial keberlanjutan konstruksi beton (Nath dan Sarker, 2016).

Beton geopolimer semakin dibutuhkan di masa mendatang disebabkan terbatasnya sumber daya alam dan cadangan persediaan kalsium sebagai bahan utama pembuatan semen semakin menipis. Sedangkan ketersediaan material pembuatan geopolimer dari limbah hasil industri bersifat pozzolan yang mengandung silika, alumina seperti abu terbang batubara, metakaolin, furnace slag, red mud, hingga besi masih banyak tersedia. Geopolymer dapat diaplikasikan pada berbagai lapangan industri seperti aerospace, metalurgi, pengecoran bukan besi, industri plastik, maupun teknik sipil. Pemanfaatan material geopolimer guna mendukung program pemerintah dalam penyediaan smart infrastructure berbasis ramah lingkungan seperti pada bidang-bidang sebagai berikut :

Transportasi yaitu pembangunan jalan yang terkoneksi, traffic light lalu lintas, ketersediaan parkir kendaraan, konstruksi lapis perkerasan jalan baik rigid pavement maupun fleksibel pavement, fasilitas bandar udara, fasilitas bangunan pada pelabuhan seperti dermaga dan pemecah ombak (Break water), fasilitas rel kereta api, terowongan, fasilitas terminal angkutan kendaraan umum, jembatan pracetak.

Geoteknik terkait perilaku bumi atau tanah yaitu material pekerjaan tanah menggunakan Geopolymer pada timbunan sebagai perkuatan, pekerjaan grouting untuk meningkatkan kemudahan pencampuran, mengurangi biaya, dan meningkatkan daya tahan terhadap sulfat. Stabilisasi tanah lunak yang secara teknis bermasalah untuk meningkatkan daya dukung tanah, dinding penahan tanah serta stabilisasi pada tanah dasar subgrade di bawah jalan.

Konstruksi bangunan gedung untuk struktur beton pada struktur atas (kolom, balok plat), beton pracetak dan struktur bawah bangunan (pondasi), bagian dinding seperti plesteran, batu bata, atau beton ringan batako.

Konstruksi bangunan pengolahan air limbah pada lingkungan agresif yang mengandung derajat kadar asam yang tinggi, air laut dan suhu tinggi rentan mengalami kerusakan jangka panjang akibat asam-asam organik dan non-organik seperti asam humat dan asam sulfat dapat menyerang kalsium pada beton membentuk garam, meningkatkan porositas, menurunkan kekuatan beton, serta mempercepat korosi tulangan pada beton. Fasilitas konstruksi pengelolaan sampah atau Tempat Pembuangan akhir (TPA) sampah serta pengelolaan sampah secara terintegrasi bersama bangunan drainase pembuangan air kotor.

Geopolimer dikatakan ramah lingkungan, karena selain dapat menggunakan bahan-bahan buangan industri seperti : lempung (*kaolinitic clays*), abu terbang (*fly ash*), *furnace slag*, abu sekam dan jerami padi (*rice ash*), proses pembuatan beton geopolimer tidak memerlukan energi yang banyak sebesar proses pembuatan semen Portland atau ordinary Portland Cement (OPC) yang setidaknya memerlukan suhu 1300 hingga 1500 derajat celsius. Pemanasan lebih kurang 60 derajat celsius selama satu hari penuh sudah dapat dihasilkan beton geopolimer yang berkekuatan tinggi. Proses pembuatan beton geopolymer mampu menurunkan emisi gas rumah kaca yang diakibatkan oleh proses produksi semen. Pengembangan teknologi geopolymer menjadi alternatif terdepan dalam dunia konstruksi dapat memberikan manfaat luas terhadap ekosistem dunia kedepan. Saat ini kita berada di era revolusi industri 4.0 menuju Society 5.0 yang menghubungkan semuanya bagi kepentingan hidup manusia. Olehnya itu dalam pembangunan infrastruktur modern yang nyaman dan berkelanjutan yang melindungi dari degradasi lingkungan pada bumi, sebaiknya menggunakan teknologi geopolymer. Beralih dari model pengambilan lalu pembuangan ke model sirkular yang berkelanjutan dari penggunaan hingga daur ulang. Beton geopolimer yang berdampak rendah pada lingkungan namun berkinerja tinggi merupakan solusi bagi sektor industri konstruksi yang membutuhkan termanfaatkannya bahan lokal, struktur yang awet, hemat biaya, serta ramah lingkungan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton geopolimer adalah solusi alternatif untuk menggantikan beton semen Portland karena memiliki sifat-sifat fisik, mekanik, dan tahan lama yang lebih baik untuk semua kondisi lingkungan ekstrim yaitu serangan asam, kondisi air laut, serangan sulfat, karbonasi beton, penetrasi klorida, reaksi agregat alkali dan suhu tinggi, daripada beton konvensional Ordinary Portland Cement. Beton geopolimer memiliki peran penting dalam industri konstruksi kedepan melalui penggunaannya terutama dalam konstruksi pengolahan limbah, jembatan, jalan raya, bendungan, terowongan, dan struktur hidrolik, karena kinerjanya yang tinggi. Pemanfaatan sumber daya alam yang optimal, pemanfaatan bahan limbah untuk industri konstruksi menjadi lebih efisien hemat biaya dalam pembangunan infrastruktur umur panjang.

Penutup

Pemanfaatan material buangan (limbah) dan material lokal pada penelitian yang bersifat inovatif dan aplikatif bertujuan mengatasi masalah yang ada. Memberdayakan teknologi infrastruktur yang lebih ramah lingkungan dengan memangkas emisi gas rumah kaca (CO₂) serta melibatkan dukungan seluruh sektor secara terintegrasi guna melaksanakan program pembangunan berkelanjutan kedepan menuju tatanan masyarakat society 5.0 serta pentingnya menjaga keberlanjutan ekosistem sumber daya alam (Nature 5.0).

Kelayakan pembangunan infrastruktur yang disertai dengan efektivitas dan efisiensi dari segi biaya dapat ditingkatkan melalui skema kerja sama antara pemerintah dan badan usaha. Pemerintah mendapatkan keringanan dalam penyediaan infrastruktur cerdas sedangkan pihak swasta dapat memperoleh keuntungan dari pelaksanaan proyek, kemudian masyarakat memiliki akses terhadap infrastruktur tersebut.

Pembangunan dengan menggunakan kemajuan teknologi yang dapat menghasilkan nilai tambah dan material yang ramah lingkungan diperlukan untuk dapat memberikan solusi bagi keberlanjutan bumi baik dalam mengurangi emisi karbon, perubahan cuaca, dan penggunaan sumber daya alam demi mencapai pertumbuhan ekonomi, meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan menjaga keberlanjutan lingkungan hidup.

Hadirin sekalian yang saya hormati,

Sebelum mengakhiri orasi ilmiah ini, izinkanlah saya membagikan kesaksian dalam perjalanan hidup saya dari Matius 7: 24-25, firman TUHAN. Dalam kehidupan ini tidak ada problem free selalu ada masalah dan tantangan. Namun setiap orang yang melakukan perkataan TUHAN sebagai satu-satunya pegangan, tidak akan goyah. Seperti burung rajawali yang terbang semakin tinggi mengatasi badai kehidupan.

Demikian yang dapat saya sampaikan. Kepada seluruh civitas akademika, seluruh jajaran panitia Dies Natalis UKI Toraja ke 55, dan kepada seluruh hadirin, saya mengucapkan terima kasih atas perhatian dan kesabarannya dalam mengikuti orasi ilmiah ini. Mohon maaf atas segala kekurangan. Kasih Karunia TUHAN di dalam KRISTUS YESUS menyertai kita setiap saat. Amin.

.....